



TITLE:

ES工法による法面防護と景観保全に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

鈴木, 正司

CITATION:

鈴木, 正司. ES工法による法面防護と景観保全に関する研究. 京都大学, 2004, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2004-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k10538>

RIGHT:

京都大学博士論文

ES工法による法面防護と
景観保全に関する研究

平成15年 8月

鈴木正司

目 次

1. 序論	1
1. 1 概説	1
1. 2 本論分の概要	2
2. 現状の法面防護工法と問題点	4
2. 1 概説	4
2. 2 現状の法面防護工法の問題点	7
2. 2. 1 プレキャスト大型支圧板工(PCフレーム工法)	7
2. 2. 2 現場打ち大型支圧板工(グラスプ工法)	9
2. 2. 3 現場打ちコンクリートのり砕工	10
2. 2. 4 コンクリート吹付け工	12
2. 2. 5 プレキャストのり砕工	13
2. 3 まとめ	15
3. 新しい法面防護工法の提案(ES工法)	17
3. 1 概説	17
3. 2 ES工法の開発目的と有効性	23
3. 3 ES工法の構造とグラウト杭の支持力	25
3. 3. 1 上部プレートの構造	25
3. 3. 2 応力伝達管の構造	29
3. 3. 3 グラウト杭の支持力と周面摩擦力	30
3. 3. 4 グラウト杭の地盤改良効果	30
3. 4 切土法面の安定が確保される施工方法	32
3. 5 従来工法とES工法のコスト比較	39
3. 6 まとめ	43
4. 実用モデルによる実証実験	46
4. 1 概説	46
4. 2 原位置のN値	48
4. 3 載荷実験の計画	48
4. 3. 1 PC鋼棒の選定と定着長	49
4. 3. 2 地盤の極限支持力の確認実験	50
4. 3. 3 グラウト杭の支持力と周面摩擦の載荷荷重	51
4. 3. 4 計画載荷荷重の決定	52
4. 4 施工方法の検証	53
4. 5 グラウト圧縮強度	65
4. 6 載荷実験の検証	66
4. 6. 1 載荷実験の手順	66
4. 6. 2 地盤の極限支持力の載荷実験結果	73
4. 6. 3 グラウト杭の支持力と周面摩擦力の載荷実験結果	75
4. 6. 4 グラウト杭のクリープ実験	76
4. 6. 5 グラウトの地盤改良効果	83
4. 7 まとめ	89
4. 7. 1 施工手順の検証	89
4. 7. 2 載荷実験の検証	90

5. ES工法の設計手法	93
5. 1 概説	93
5. 2 ES工法の設計手法	93
5. 2. 1 上部プレートの構造設計	93
5. 2. 2 グラウト杭の設計	95
5. 3 ES工法の実施のための設計例	96
5. 3. 1 実施設計の手順フロー	96
5. 3. 2 実施設計例	97
5. 4 まとめ	105
6. 景観修復の計画とシミュレーション	106
6. 1 概説	106
6. 2 ES工法を使用した法面の景観修復計画	106
6. 3 崩壊法面におけるES工法の実用化	109
6. 4 景観修復のシミュレーション	114
6. 5 まとめ	124
7. ES工法の今後の課題	125
7. 1 概説	125
7. 2 ES工法の課題	125
8. 結論	127
謝辞	130

1. 序論

1.1 概説

わが国の道路は、大量の物資や人々を短時間に移動させることが可能な高速自動車道路に代表される。21世紀初頭の現在、主要な縦断高速自動車道がほぼ完成しており、今後はこの縦断道路をネットワーク化する横断道路へと建設が進められている。その横断道路は、山岳地帯を通過するため多数の切土法面が発生している。さらに、急峻な地形を通過するルートにおいては、長大切土法面が数多く計画されている。しかし、過去の高速自動車道路建設において創造された長大切土法面は、さまざまな要因により、その10%が崩壊するという経験値がある。その経験値からすると、将来に建設される道路においても崩壊の危険性をはらんでいる切土法面が必然的に発生し続けることになる。そのような崩壊の危険性がある長大切土法面を防護する工法として、グラウンドアンカー工法、ロックボルト工法がある。これらは、計画の段階から崩壊の危険が想定される場合や切土を行っている途中段階において崩壊の兆候が発生した場合の切土法面崩壊防止対策工として採用されている。特にグラウンドアンカー工法は、切土法面の大きな円弧や複合的なすべりに適合しており、ロックボルト工法は、切土法面の浅い表層すべりに適合している。

ところが、これらの切土法面防護工法の受圧装置は、景観を考慮されたものでなく、ほとんどがコンクリートで法面を覆い、緑化が困難な構造となっている。また、その受圧装置は、法面の表面上に反力をとるため、法面の土質性状によっては、大きな受圧面積が必要になり、その大きさに比例して重量も増加する傾向にある。さらに、従来の受圧装置においては、施工性や経済性に対して積極的な対応がなされていない現状がある。一般的にグラウンドアンカー工法における受圧装置は、プレキャスト製品や現場打ちコンクリート板などが使用されている。これは、グラウンドアンカー1本当たりに対する反力が大きく、この反力を法面上にとるために大きな受圧装置が必要とされる。このような受圧装置は、その重量が50kN以上となり、施工性を悪くしている。また、ロックボルト工法は、吹付けコンクリートによって被覆した法面や現場打ち法枠を施工した法面に実施されることが一般的である。このようにコンクリートで法面を被覆する工法は、切土法面の緑化を困難にし、景観を悪くしていることから、新しい法面防護工として景観を考慮した緑化が可能な受圧装置が求められている。

一方、21世紀を迎え、わが国は世界でも例を見ない高齢化社会の到来、少子化による人口の減少、デフレによる経済の停滞、硬直した行政などが、絡み合い複合した社会問題を抱えている。これらの問題により、我が国の社会経済は閉塞し、失業人口が5%を超えている状

況の中で、コストを縮減するために行政改革や構造改革が進められている。また、高度成長期のような至る所に社会資本を投下する時代から、必要な所に維持コストを抑えた高品質な社会資本を建設する時代へと移り変わろうとしている。このような社会情勢を鑑み、明るい将来のある日本を建設していくためには、今後の社会資本整備に対して無駄を省き施工コストを積極的に抑えた工法を開発していくことが必要であると考えられている。

このような背景から、従来の受圧装置の問題点を解決するために、積極的に施工コストを縮減し景観を考慮した新しいタイプの受圧装置を用いた工法を提案するものである。この受圧装置を用いた工法は、ES工法(Elephant Sole Cut Slope Protection Method)と呼ばれ、第3章で詳述するが、3つの特徴があげられる。第1の特徴は、切土法面下の地中地盤を改良して、その改良補強された地中地盤にグラウンドアンカーの反力をとっていることである。これによって、法面下の地中地盤にグラウンドアンカー反力をとると同時に、改良された地盤によって切土法面の安定が向上している。このように法面下の地中地盤を補強する工法は過去に例が無い。第2の特徴は、受圧装置を従来のコンクリート製から鋼製にすることにより、軽量化を実現し施工性を向上させていることである。さらに、施工に使用される重機械が小型化されることにより、施工コストが縮減されている。第3の特徴は、法面の表面を覆う鋼製の受圧装置がコンパクト化され、法面面積の95%以上の緑化が可能となっている。この受圧装置は、法面表面に露出する面積が少なく、植生により覆い隠されることから、周辺環境の景観と調和させることが可能な工法であるが、従来の切土法面防護工法にはこのような全面緑化が可能なものはほとんど無い。

本研究で提案するES工法は、法面下の地盤を改良して補強することが法面の長期安定性を向上させ、軽量化及びコンパクト化されていることが施工性の向上と施工コストの縮減を図っている。また、この工法は切土法面を全面緑化することで、周辺環境と調和して自然な景観を創造できる工法である。

1.2 本論文の概要

本論分各章の内容要旨は次のとおりである。

第1章「序論」では、本研究の背景として、景観や環境が配慮される道路建設が望まれている状況とさまざまな複合した社会問題を取り上げている。今後の道路建設においては、主要縦断道路の建設から横断道路へと建設が移行している中で、切土法面が今後も多数発生することが考えられる。これらの中に崩壊の危険性がある法面の安定を図るために、グラウンドアンカーの反力を法面の地中地盤にとり、グラウトによる地盤を改良補強して長期安定性を向

上させる従来の工法に無い特徴を持つ新しい工法を提案している。さらに、法面の全面緑化を可能にしている点も特徴となっている。また、緑化によって周辺の自然環境への調和やコスト削減を実践する工法開発の必要性を述べている。

第2章「現状の法面防護工法と問題点」では、従来からの法面防護工の種類を列挙し、その問題点について述べると共に従来の法面防護工の問題点をあげている。

第3章「新しい法面防護工法の提案(ES工法)」では、ES工法の開発目的と有効性及びES工法の構造と法面下の地中地盤を補強して法面の安定を確保する考え方について述べる。また、法面の安定を確保する施工方法と代表的な従来工法との施工コストを比較している。

第4章「実用モデルによる実証実験」では、前章で提案したES工法の実用性を検証するために実用モデルによる載荷実験について述べる。載荷実験は、実用モデルを製作して第3章の施工計画に沿って実施している。この実用モデルによる施工は、施工歩掛りデータをとることも目的としており、施工コストを正確に算出する根拠としている。また、施工計画の手順を検証するとで、実用化の可能性を検証している。さらに、まとめとして実用化に伴う合理的な設計の手法を確立し、第5章「ES工法の設計手法」の設計手順の基礎としている。

第5章「ES工法の設計手法」では、実用モデルによる実証実験から得られた結果をもとに実用化を図るために、ES工法の構造設計とアンカーの反力に対抗する法面下の地盤改良による合理的な設計手法を提案している。

第6章「景観修復の計画とシミュレーション」では、既設の法面防護工の改修や補修に伴って、法面を緑化することが可能なES工法の改修施工計画を立案している。さらに将来、既設の切土法面を改修して緑化を行う場合を想定したES工法による景観修復のシミュレーションを行っている。

第7章「ES工法の今後の課題」では、今後の研究のポイントを列挙し、ES工法のさらなる進化を図るためにその課題について述べる。

第8章では、本研究で得られた成果を総括する。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路土工 のり面工・斜面安定工指針, 平成11年3月
- 2) (社)地盤工学会:グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説(JGS4101-2000)
- 3) (社)土質工学会:切土ノリ面(土質基礎工学ライブラリー12)
- 4) (財)高速道路技術センター:切土のり面景観デザインマニュアル, 平成11年7月

2. 現状の法面防護工法と問題点

2.1 概説

切土法面は、高速道路や一般道路の建設、開発造成等に伴い、地山の土砂を切り取ることで発生する。急峻な地形の多いわが国においては、この切土法面は長大法面となることが多い。さらに、長大法面に限らず、今まで安定していた地山を切土することによって重量バランスを崩し、斜面崩壊や切土表層の崩壊が発生する。わが国の社会資本整備を充実していく上で、今後も道路建設や開発造成が必要であり、切土法面が増えていくことになる。そうした状況下において切土法面の崩壊は、避けられないものと考えられる。しかしながら、過去の高度成長の時代における重厚長大な社会資本建設から、景観や環境の保全を配慮する社会資本の整備が重要性を増してきており、それが求められる時代となっている。また、地球規模で環境破壊に対する意識が高揚していることから、今後は切土法面においても景観や環境に配慮していく必要があると考えられる。

今までの道路建設においては、法面を切土した直後に切り取り面の風化を防止するために、切土法面にモルタルやコンクリートを吹き付けて、法面崩壊の防止対策が数多く施工されている。昭和30年代から建設された高速道路においては特に多用されている。切土の施工途中における法面の小崩壊や剥離崩壊などの現象が確認された場合においても、吹付けコンクリートによる法面の防護は、施工の手軽さと短時間で施工できることから、法面の崩壊防止工法として採用されている。これは、施工性を重視した結果であると考えられる。しかし、1㎡当たりの施工費用が、高価であることから、経済性まで考慮された工法とはいえない。また、過去の切土法面に対する概念の中には、景観や環境まで考慮する考え方が、一般的では無かったと判断される。

景観と環境を考慮するならば、切土施工直後に植生を施すことである。植生は、降雨が切土法面を流れる水によりエロージョン崩壊を防ぐ役目や、植生の根が切土法面の表層部を補強して切土表層の土砂の移動を食い止める効果を持っている。そのメカニズムは、植生の根が、土中に50cmから100cmの深さに侵入することにより、土粒子の隙間に根がからみ、法面表層部を不織布のような補強帯となることで崩壊を防いでいる。そのことは、降雨に対する崩壊防止をするだけでなく、直射日光による表層部の乾燥を防ぎ、その保水効果から土砂が乾燥することによる崩壊を防止する役目も担っている。

植生により法面が、安定している状態が理想的であるが、土質の種類、堆積状態、その他いろいろな条件により、不安定になる切土法面が多く発生する。そのような法面に対しては、植生

以外の法面防護工が必要になる。法面防護工が必要なすべりには、大きい円弧や複合的な動きを描くすべり、切土法面の直線的な浅いすべり、切土法面表層のすべりがある。

大きい円弧すべりや複合すべりには、グラウンドアンカーを使用することが一般的であり、その反力をとる工法として、図2. 1に示すように、PCフレーム工法、現場打ち支圧板工法、現場打ちコンクリートのり砕工法などがある。切土法面の直線的な浅いすべりには、図2. 2に示すようにロックボルトを併用したコンクリート吹付け工法や現場打ちコンクリートのり砕工法がある。切土法面表層のすべりには、図2. 3に示すように比較的短いアンカー鉄筋を打ち込んで重さで安定させるプレキャスト法枠工法やブロック張擁壁工法がある。

本研究の対象は、大きな地すべり等で採用されている深礎杭や抑止杭を使用したすべりではなく、切土によって安定を崩したすべりを対象としている。

本章では、従来から用いられている切土法面の安定を図ることを目的としている工法を紹介し、その問題点を上げると共に、景観についても述べる。

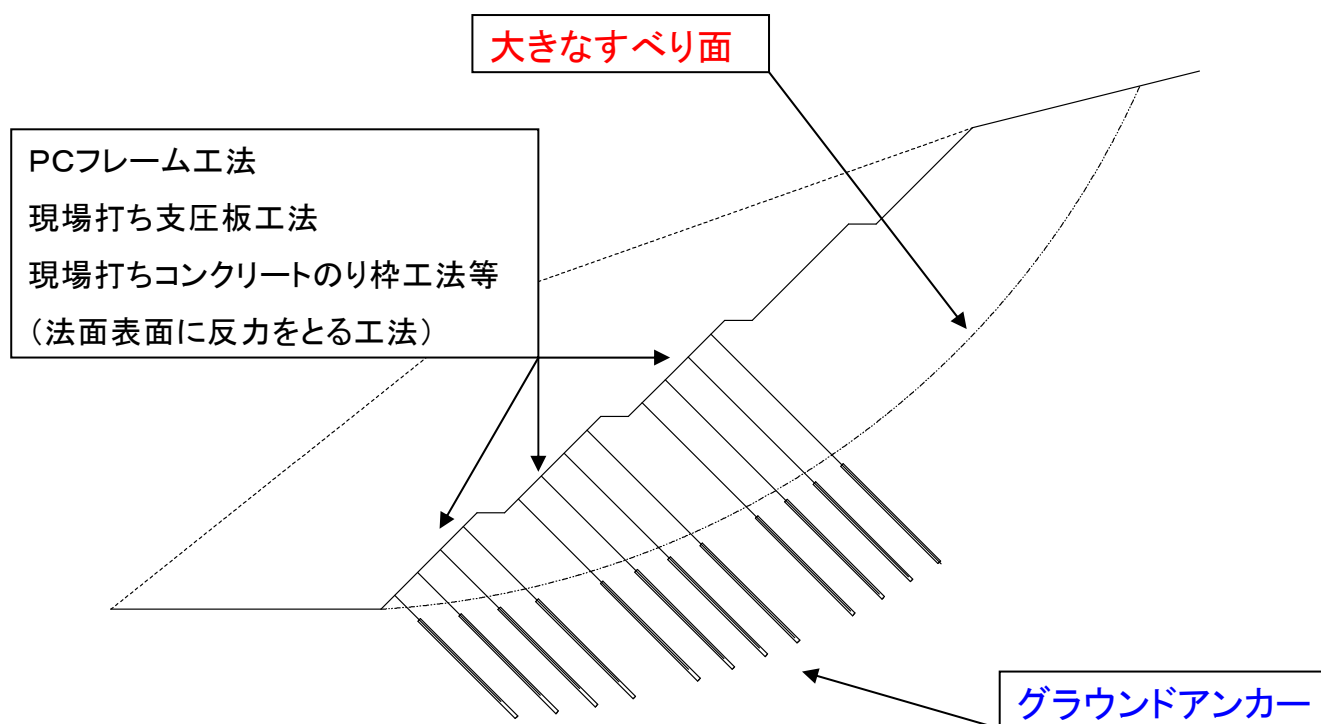


図 2. 1 グラウンドアンカーを使用した法面防護工の一般形状

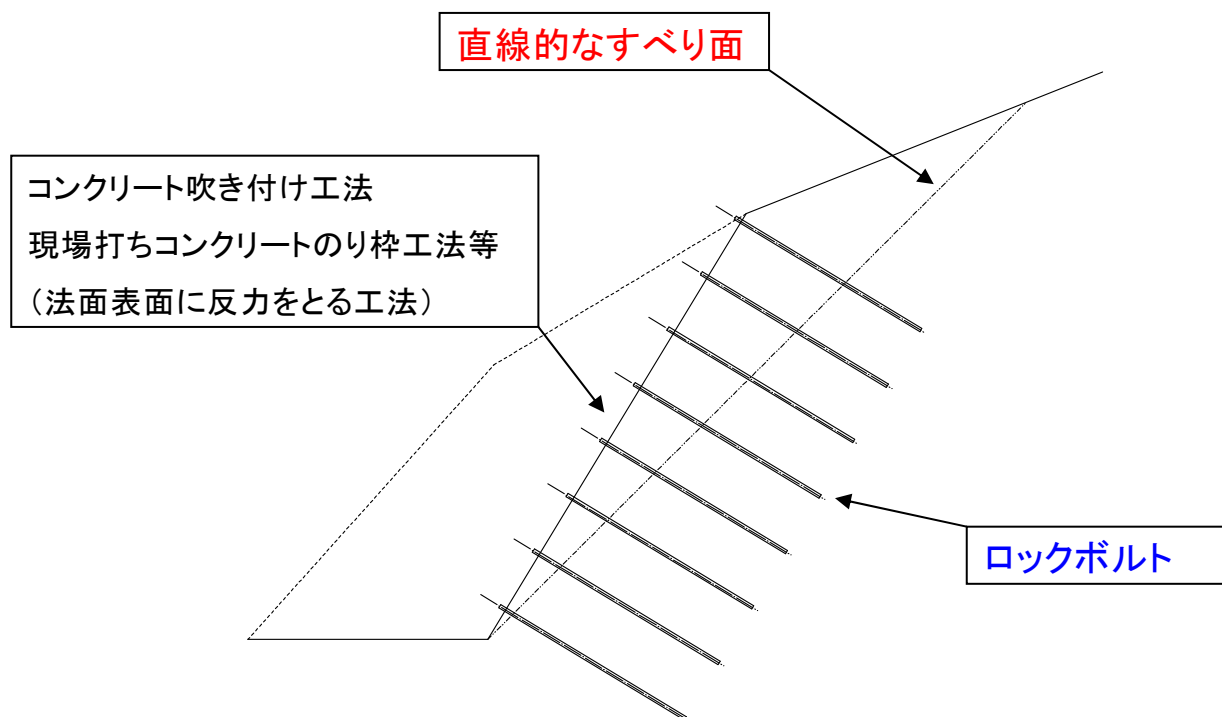


図 2.2 ロックボルトを使用した法面防護工の一般形状

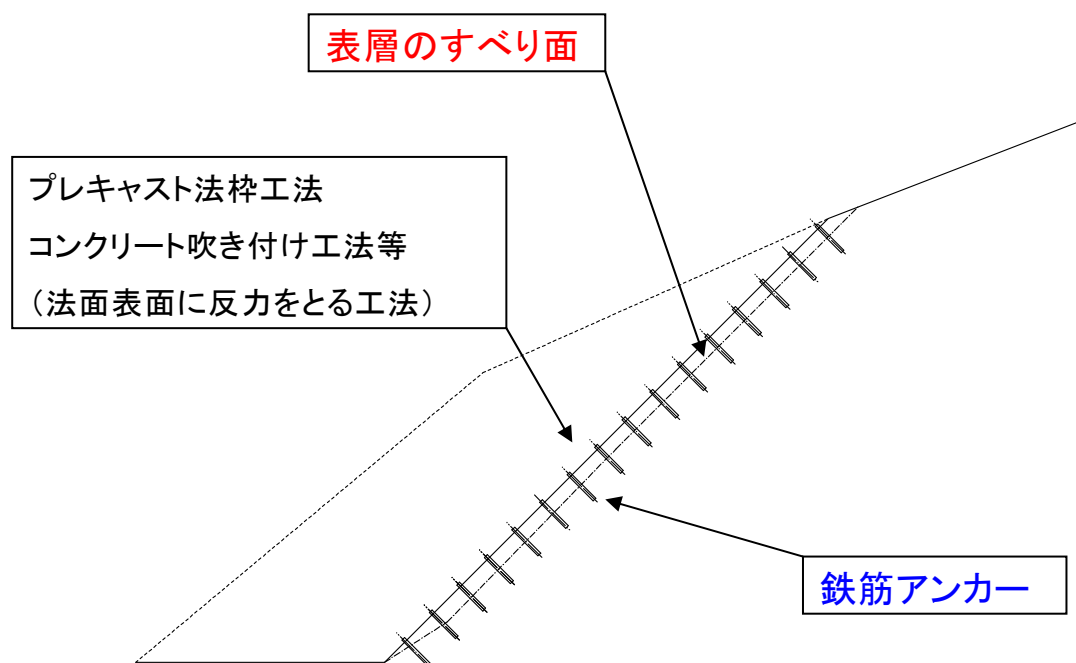


図 2.3 比較的短い鉄筋アンカーを使用した法面防護工の一般形状

アンカーの種類による区分	法面防護工の種類	切土高さHm				
		5m	10m	15m	20m	25m以上
グラウンドアンカーを使用したもの	PCフレーム工法					
	現場打ち支圧板工法					
	現場打ちコンクリートのり枠工法					
ロックボルトを使用したもの	コンクリート吹付け工法					
	現場打ちコンクリートのり枠工法					
短いアンカー鉄筋を使用したもの	プレキャストのり枠工法					
	コンクリート吹付け工法					

図 2.4 切土高さによる法面防護工の種類

2.2 現状の法面防護工の問題点

2.2.1 プレキャスト大型支圧板工(PCフレーム工法)

プレキャスト大型支圧板工は、大きい円弧すべりや複合すべりに対応するもので、グラウンドアンカーの反力を法面表面で取ることを目的とした工法である。グラウンドアンカーの大きな荷重に耐えうる構造を要求されるので、コンクリート製の大型で重量のある支圧板となる。法面全面に支圧板を配置し、グラウンドアンカーの反力を受けるものである。

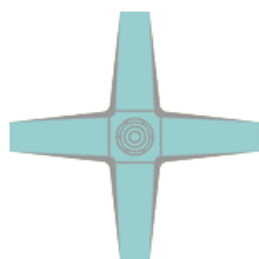
プレキャスト大型支圧板の重量は、コンクリートを使用するため1ヶ当たり 16kN～51kN がある。その施工条件は、重量物である支圧板を搬入するための堅固な工事用道路、重量物を吊り上げる揚重機の為の施工足場となる地盤、搬入された支圧板を仮置きする広範囲なストックヤードが必要になる。施工例から見ても新設の高速道路等の建設において上記の施工条件を満たすことの出来る場所に限られている。現状の中で軽量化を図るためにスリム化したプレキャスト大型支圧板が工夫されているが限界があると考えられている。また、軽量するためにコンクリートに代わる鋼製の支圧板も開発されているが、植生による緑化は困難となっている。これは、法面がコンクリートの支圧板か鋼製の支圧板で覆われることになるので、法面全体を緑化することが難しいと考えられる。

また、工場製品であることから、製作は受注生産のため即時に対応することが不可能である。切土の設計時点において、切土法面が崩壊の危険があると判定されて当初から計画されてい

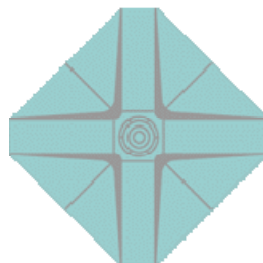
る場合は施工が可能であるが、切土の途中において崩壊の兆候が現れた場合には、即時の対応が不可能な工法といえる。

設計の計画段階からこの工法を採用することが決定されている場合には、切土する段階ごとにグラウンドアンカーを施工し、支圧板を設置する施工手順となるので、逆巻き工法が採用されて、地山を緩めることなく安全に切土の施工ができることになる。しかしながら、切土法面の切り取り精度が悪い箇所や礫を含むような地盤の箇所は、支圧板全体が接地できないため、1点に応力が集中してしまいクラックが発生し破壊する危険性が考えられる。

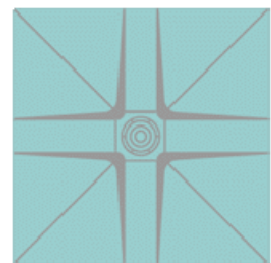
プレキャスト大型支圧板は、切土法面の土質によって、グラウンドアンカーの設計アンカー力に見合う接地面積が必要となるため、支圧板が接地する地盤の状態が良くない場合には、接地面積を大きく確保する必要があり、図2. 5のスクエアタイプが採用される。セミスクエアタイプやスクエアタイプは、法面のほとんどを覆ってしまうので、緑化が不可能となり、景観上はコンクリートの地肌が露呈することになる。クロスタイプは、地盤の良好な箇所に採用されるが、切り取り精度が悪い箇所や礫を含むような一様な地盤でない箇所では、1点に応力が集中してしまうのでクラックが発生し破壊しやすいタイプといえる。クロスタイプにおいても、植生する箇所が少ないので切土法面にコンクリートの地肌が露出してしまい、法面の全体を緑化することは不可能であり、景観上に問題があると考えられる。



クロスタイプ



セミスクエアタイプ



スクエアタイプ



図 2. 5 PCフレームのタイプ形状と施工例

2. 2. 2 現場打ち大型支圧板工(グラスプ工法)

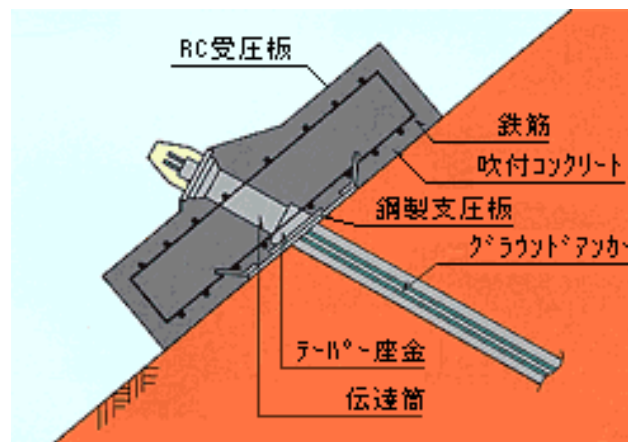
現場打ち大型支圧板工は、プレキャスト大型支圧板工と同様に大きい円弧すべりや複合すべりに対応するもので、グラウンドアンカーの反力を法面表面に取ることを目的とした工法である。グラウンドアンカーの大きな荷重に耐えうる構造で、プレキャスト支圧板に変えて吹付けコンクリートによって現場打ちをするRC構造の支圧板である。法面の全面に支圧板を配置し、各グラウンドアンカーの設計反力を受ける構造となる。(図2. 6参照)

この工法は、先行施工する鋼製支圧板にグラウンドアンカーを設置してから鋼製支圧板を取り込むように鉄筋を配筋して吹付けコンクリートにより一体化させる工法である。プレキャスト製品と現場打ちの鉄筋コンクリート構造物では、施工性に大きな違いがある。現場打ち大型支圧板工の施工性の特徴は、吹付けコンクリートを使用することで狭隘な箇所や高所な箇所においても施工が可能なことである。プレキャスト製品と違い重量物が無いので揚重機が稼動するための堅固な工事用道路や作業ヤードは必要が無い。また、搬入された資材を仮置きする広範囲なストックヤードも必要が無い。プレキャスト大型支圧板工は、当初の設計計画段階からこの工法を採用することが決定されていることが条件となるが、現場打ち大型支圧板工は切土施工中に法面崩壊等の兆候が現れても即時に対応が可能となる。さらに、グラウンドアンカーを施工後直ちに鋼製支圧板を設置することで、早い段階で崩壊に対する手当てが可能となる利点がある。また、切土する段階ごとにグラウンドアンカーと鋼製支圧板を施工することが可能であり、プレキャスト大型支圧板工以上に地山を緩めることなく安全に切土の施工が可能となっている。一方、切り取られた法面地盤の形状面に沿って現場打ちすることから地盤に密着するので、切土法面の切り取り精度の影響を受けない。切土後の地山の緩みを最小限に抑えることは、崩壊の兆候が現れた時点での施工においても安全性が確保できる逆巻き工法となる。

現場打ち大型支圧板工は、切土法面の土質によって、グラウンドアンカーの設計力に見合う接地面積が必要となる。支圧板が接地する地盤の土質状態が良くない場合は、接地面積を大きく確保する必要があるが、形状としては正方形になるが法面をほとんど覆ってしまうので、緑化が不可能となり、景観上はコンクリートの地肌が露呈することになる。地盤の良好な箇所においては、形状を小さくすることができるが、植生をする範囲が少ないので切土法面にコンクリートの地肌が露出しており、法面の全体を緑化することは不可能となる。また、仕上がりについては、支圧板が露出しており工場製品に比べ見劣りするので景観上に問題がある。

施工性から判断すると、急峻な斜面への対応や斜面の崩壊兆候が現れたすべりへの対応に関しては、優れた工法であると評価されている。災害時に景観まで考える必要は無いと思われるが、第3章で提案しているES工法は、災害時でも緑化をすることが可能であり、景観を考慮

する工法となっている。



支圧板拡大断面図

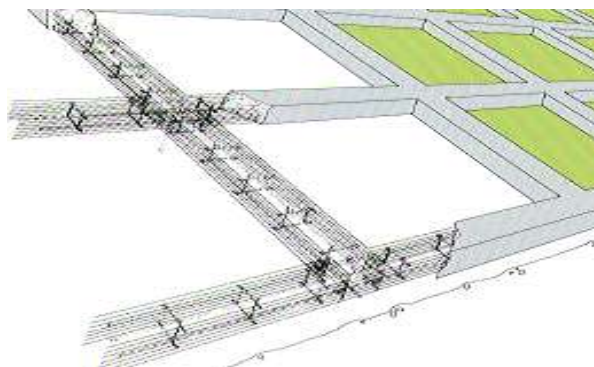


図 2. 6 現場打ち大型支圧板(グラスプ工法)の断面形状と施工例

2. 2. 3 現場打ちコンクリートのり砕工

現場打ちコンクリートのり砕工は、大きい円弧すべりや複合すべりに対応するグラウンドアンカーの反力を法面表面に取る場合、切土法面の表層すべりに対応するロックボルトの反力を取る場合、切土法面の浮石などの剥落防止をする場合等に対応することを目的とした工法である。(図2. 7参照)その構造は、金網を型枠として格子状に配置しその中に鉄筋を配筋して、吹付けコンクリートを型枠内に打設して仕上げを行うものである。格子状の交点にグラウンドアンカー、ロックボルト、鉄筋アンカーを打ち込み切土法面の安定を確保する。その部材の断面

については、グラウンドアンカーやロックボルトの設計アンカー力に基づいて設計を行う。施工上の特徴は、人力による施工が可能であることから、堅固な工事用道路、広範囲な施工ヤード、大型の揚重機は必要が無く、吹付けコンクリートなので、狭隘な箇所や高所な箇所にも施工が可能である。軽量の金網と鉄筋を調整することで、地山の地形に順応させて張り付けられるので、切土法面の凹凸にも対応が可能となる。施工例は多く、崩壊した斜面でもその地形に追従した形状になるので、法面の風化、降雨による浸食、表層部の剥落の防止対策として有効である。法面の全体の75%は緑化が可能であるが、景観上はコンクリートの地肌が格子状に目立つこととなり、シーン景観においては法面防護工の存在が顕著となる。本研究のES工法では、法面全体の95%以上が緑化されるので、シーン景観上には緑化された景観を創造することが可能と考えられる。



格子型枠拡大図

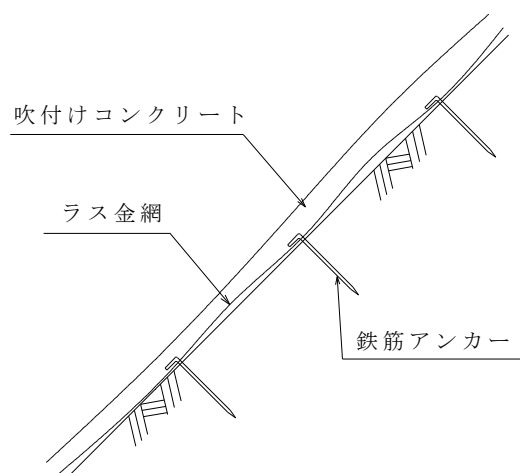


図 2.7 現場打ちコンクリートのり枠の格子型枠形状と施工例

2. 2. 4 コンクリート吹付け工

コンクリート吹付け工は、大きなすべりに適応されるものではなく、切土法面の表層すべりに対応する工法であり、ロックボルトの反力を取ることや切土法面の浮石などの剥落防止を目的とした工法である。

コンクリート吹付け工は、法面密閉型保護工として地山の風化抑制の効果が大きく、施工性、経済性で有利な一面を持つことから高速道路や一般国道建設において、全国で多用されている。



断面拡大図



図 2. 8 コンクリート吹付け工の断面形状と施工例

しかし、近年このコンクリート吹付け工法の法面の損傷や劣化などの変状が、全国から報告されている。コンクリート吹付け法面に見られる劣化現象によるクラックは、過去に実施された法面の90%において発生している。また、その中でも破壊につながる有害なクラックが多くみられる。切土法面への施工のしやすさや経済性から多用された傾向にあったが、劣化の進み具合が早いことも分かってきている。

吹付けコンクリートは、法面の施工性において、堅固な工事用道路、大型の揚重機、広範囲な施工ヤードの必要が無く、人力による施工が可能である。狭隘な箇所や高所の箇所での施工の困難さをほとんど解決する工法である。しかしながら、その仕上がりは、良好な景観を演出することは出来ない。現在は、過去に施工されたコンクリート吹付け法面を緑化して景観を保全する対策が行われている。将来は、道路の景観に影響する永久法面にコンクリート吹付け工法を採用することを取り止め、仮設の切土法面における表層剥離崩壊に限定して採用される工法と考えられる。戦後の高度成長とともに全国で多数採用された工法であるが、近年は時代のニーズに合わない工法となってきた。過去に施工された吹付けコンクリート法面が劣化などによって改修工事が必要とされる場合においては、景観や環境を考慮した緑化の可能な法面防護工が採用される時代へと移行する過渡期となっている。

2. 2. 5 プレキャストのり枠工

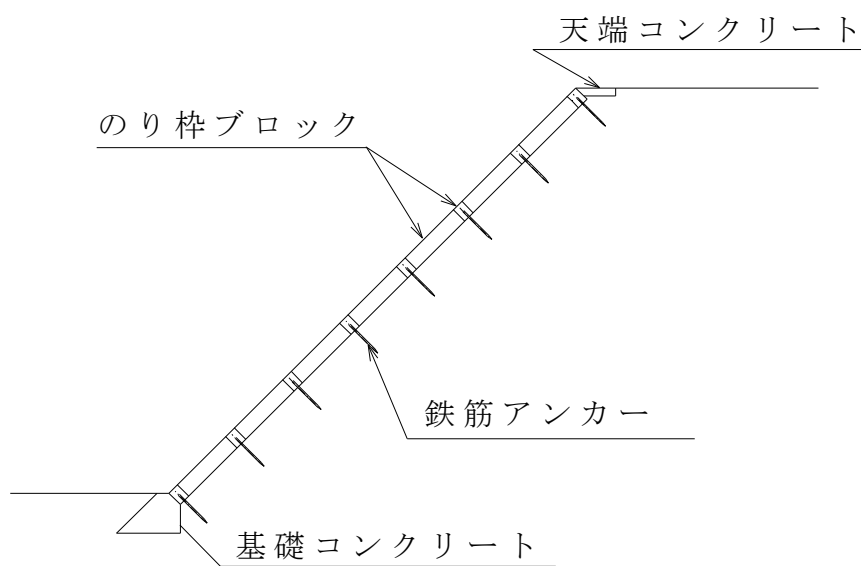
プレキャストのり枠工は、一片の長さ 1.0m 程度のコンクリート製の枠部材を使用して、格子状に組み合わせて積み上げる工法である。現在は、コンクリート製だけでなく、鋼製、合成樹脂製のものも使用されている。プレキャストのり枠工は、外力や土圧には抵抗できないので、法勾配45度より緩い勾配の法面において、法面の浸食及び表層崩落防止を目的として使用され、植生についてはのり枠内に客土することで緑化を行う工法として採用されている。枠内の中詰めには客土以外に平板ブロック、玉石などを張って侵食を防止している。(図2. 8参照)

プレキャストのり枠工のコンクリート地肌は、法面全体の面積の50%以上を占める割合であり、全面緑化は不可能となっている。高速道路建設では、数多く採用されてきたが、シーン景観上は、格子状にコンクリートの地肌が目立つ景観となるが、シークエンス景観においては、進行方向に対して規則正しく配列されていることで、一定のリズムを感じることができる。

植生を目的とするプレキャストのり枠工の施工費は、高いコストとなっているので経済的ではないことから、今後の切土法面の防護工法としてプレキャストのり枠工の採用は、コンクリート吹付け工と同様に減少していくことが考えられる。従来からある緑化を目的とした工法は、土砂の場合種子吹付け工、植生袋工、植生穴工が採用され、土壌硬度の大きい土砂から軟岩の

場合は、吹付け厚さを増した種子吹付け工が採用されている。また、硬岩の場合においては、厚層吹付け工法が多数採用されている。

将来においては、景観や環境に配慮した工法の選択が重要とされるので、法面全面を緑化することが可能である工法が、採用されるポイントであると考えられる。そのようなニーズを捉えることを目的として、本研究は緑化が可能な新しい法面防護工の提案をするものである。



プレキャストのり枠工断面図



図 2.9 プレキャストのり枠工の断面形状と施工例

2.3 まとめ

本章では、切土法面の防護工について、比較的多く採用されている工法について紹介し、その問題点について述べている。現状の法面防護工として、グラウンドアンカーを使用するような大きなすべりに対する法面防護工から植生のための法面防護工までの問題点についてのまとめは、以下のとおりである。

- (1) 現状の法面防護工は、切土法面の表面にグラウンドアンカーの反力をとるので、法面地盤の土質性状によっては、広い受圧面積が必要とされる。
- (2) PCフレーム工法は、切土法面の仕上がり精度が悪いとフレームと地盤が接地した箇所に荷重が集中してしまうので、PCフレームにクラックが入ったり、破壊したりする可能性がある。
- (3) 大きなアンカー力を導入するPCフレーム工法は、重量のある部材となり、堅固な工事用道路と広範囲なストックヤードを確保する等の施工の条件が必要とされる。
- (4) 従来の工法は、経済性まで追及されたものではなく、施工性に重点を置いていたことから施工費が割高となっている。
- (5) 吹付けコンクリートは、劣化が進行しやすく、長期的なライフサイクルが短くなっている。
- (6) 現場打ちコンクリートのり砕工やコンクリート吹付け工の法面は、地山の地形に沿って順応させて施工が可能であるが、景観は不自然なものとなっている。
- (7) 現場打ちコンクリートのり砕工やコンクリート吹付け工の法面は、コンクリート部分が法面を覆い占有してしまうので、全面緑化が不可能なことから、周辺環境の景観に悪影響を与えている。

現状の法面防護工は以上のような問題点を抱えている。

今は、コストの縮減と景観や環境に配慮した工法が望まれる変革の時代へ移行し始めている。これは、美しい景観を観光資源とすることや地球規模での環境保全への関心の高まりの結果である。21世紀の切土法面に対するニーズは、施工性の向上によりコストの縮減を図り、法面の地中地盤を補強することで長期安定性を確保し、緑化によって景観と環境の保全をすることである。そこで、次章では、施工性の向上によりコストの縮減を実現し、地山の長期安定を確保しながら緑化できる新しい法面防護工であるES工法を提案するものである。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路土工 のり面工・斜面安定工指針, 平成11年3月
- 2) (財)道路厚生会:設計要領 第1集 土工・舗装・排水・造園
- 3) (社)農業土木事業協会:のり面保護工 設計・施工の手引き
- 4) 畠山直隆:実務者のための切土斜面の安定と対策
- 5) PCフレーム協会:PCフレームアンカー工法
- 6) GRASP工法協会:GRASP工法 独立支圧板アンカー新工法の設計施工法
- 7) フリーフレーム協会:フリーフレーム工法 設計・施工の手引き 改訂版
- 8) 田山聡・鈴木立実・瀬在武・植本直之:コンクリート吹付け法面の劣化実態と点検補修 土と基礎 2月, 1995
- 9) (財)高速道路技術センター:切土のり面景観デザインマニュアル, 平成11年7月
- 10) 篠原修編・景観デザイン研究会著:景観用語事典

3. 新しい法面防護工法の提案（ES工法）

3.1 概説

第1章で述べたように、切土法面は将来においても数多く計画され施工されていくと考えられる。その中で崩壊の危険性を含んだ切土法面も必然的に発生してくる。また、過去に切り取られた法面が、応力開放によって徐々に緩みを増して崩壊する危険性も内在している。さらに、21世紀の切土法面の防護工は、切土法面の崩壊防止を目的とするだけでなく、コストの縮減と景観や環境に配慮したニーズが要求されている。しかし、そのニーズに対応できる工法はまだ実現されていない。今後のキーワードは、施工性の向上、切土法面の補強、緑化である。これらのキーワードは、コストを縮減し、切土法面の長期安定性を確保し、景観や環境を保全することにあり、ニーズを積極的にとらえた新しい工法の開発が望まれているところである。これらのニーズに対して、従来には無い発想で、前章の問題点を解決するために、新しい切土法面の防護工法としてES工法の提案をするものである。

ES工法は、法面の補強、緑化、崩壊防止を目的としている。この工法の特徴は、第1に、グラウンドアンカーを使用しなければならない大きなすべりに対応するプレキャスト大型支圧板工(PCフレーム工法)、現場打ち大型支圧板工(グラスプ工法)、現場打ちコンクリートのり砕工等のようなコンクリート製の材料から鋼製の材料に変更することで、軽量化を実現し施工性を向上させたことにある。第2に、設計アンカー力に対して、従来工法は法面の表面地盤に反力を求めているが、本工法はグラウト杭を打設して地中の地盤を改良しその地中に反力を求めることを特徴としている。第3に、従来工法の受圧板が必要無くなり、法面積の95%以上を緑化することを可能にしていることである。

グラウンドアンカーなどの設計アンカー力は、グラウト杭から地盤に反力を伝える構造となっているが、そのグラウト杭が法面下の地中地盤を改良補強する目的もある。グラウト杭の地盤改良の効果は、大きい円弧すべりや表層の浅いすべりに対しても崩壊を抑止する効果が期待できることである。また、そのグラウト杭は、グラウンドアンカーやロックボルトの引張力に見合うように、グラウト杭の径や長さを調節することにより、グラウト杭底面による支持力と地山とグラウトによる摩擦力とが、設計アンカー力の反力に対抗する構造となっている。

グラウト杭の径や長さを調整する考え方は、グラウンドアンカーの定着長の設計手法である。支持力の小さい場合には、グラウト杭の径を小さくし長さを短くすることで経済的な対応がなされ、地盤の土質性状によってはグラウト杭を省略することも可能であると考えられる。支持力の大きい場合は、このグラウト杭の径を大きくし長さを長くすることで対応させることができ、小

さいアンカー力から大きいアンカー力まで広範囲に適用される。実施設計においては従来からの設計手法を基礎にして、一般的で簡易な設計とすることが必要であることから、グラウト杭の径や長さの設計は、杭の支持力公式とグラウンドアンカー一定着長の計算手法を採用して、N値から簡便に設計できる手順を提案している。

第2章で述べたように、従来の工法の問題点と、緑化による景観と環境に配慮したES工法の有効性について以下の比較表にまとめて記述する。

表 3.1 従来の受圧板の問題点とES工法の比較表

	問題点	従来の受圧装置	ES工法
切土法面の状態	切土法面の施工精度が悪く凹凸の有る場合	受圧板に均等に載荷されない。	地中のグラウト杭に反力をとるので、問題がない。
	切土法面上の転石が点在した場合	転石上は一点支持になるため、プレキャストコンクリート製品の受圧板が破壊および変圧のためクラックが発生する危険性がある。	転石の影響を受けない。
	切土法面地盤の支持力が小さい場合	支持力に見合う受圧面積が必要とされる。	地中のグラウト杭の径を大きく、長さを長くすることで対応ができる。
施工性	製品重量	プレキャストコンクリート製品は、1基当たり13kN～50kNの重量がある。	鋼製の受圧装置としたことで、大幅な軽量化を実現し、1基あたり10kN未満の重量となる。
	搬入設備	施工個所までの堅固な工事用道路と広範囲な施工ヤードが必要とされる。	施工個所までの堅固な工事用道路や広範囲な施工ヤードは必要としない。
	施工設備	受圧板の重量があるので大型揚重機が必要となり施工は大がかりとなる。	受圧装置を軽量化したので、小型の施工機械による簡易な設備となる。
安全性	狭隘な箇所や危険箇所への対応	施工設備が大がかりになるので、不可能となる。	簡易な設備なので、対応が可能である。
	重大事故の発生度	供用している道路での作業は、第三者を巻き込むような、揚重機の転倒など重大事故に繋がる危険がある。	使用機械と作業員の接触による事故が考えられるが第三者を巻き込む重大事故は発生しない。
緑化	切土法面を緑化する場合	受圧板の有る部分は緑化ができないので、景観は見劣りする。	95%以上の緑化が出来るので、周辺環境との調和がとれる景観となる。

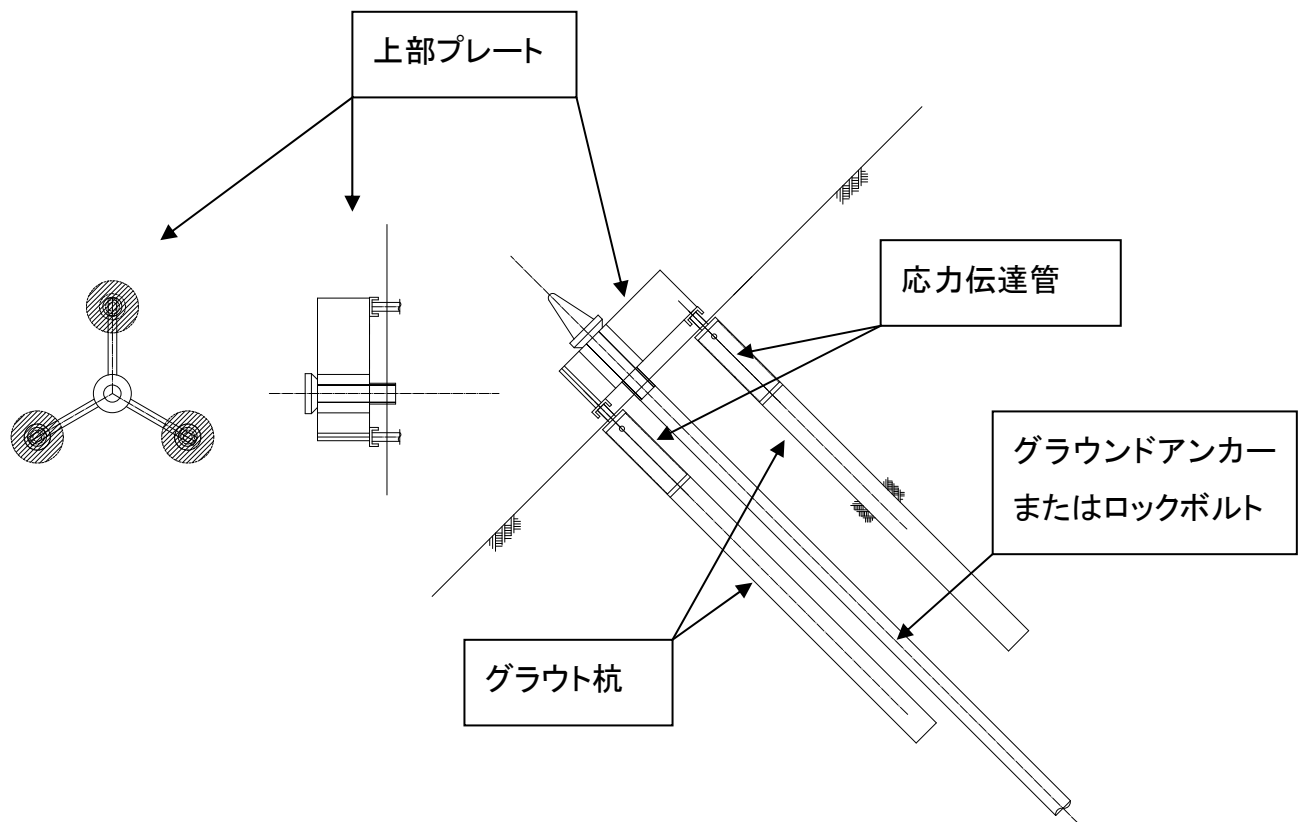


図 3.1 ES工法の概要図

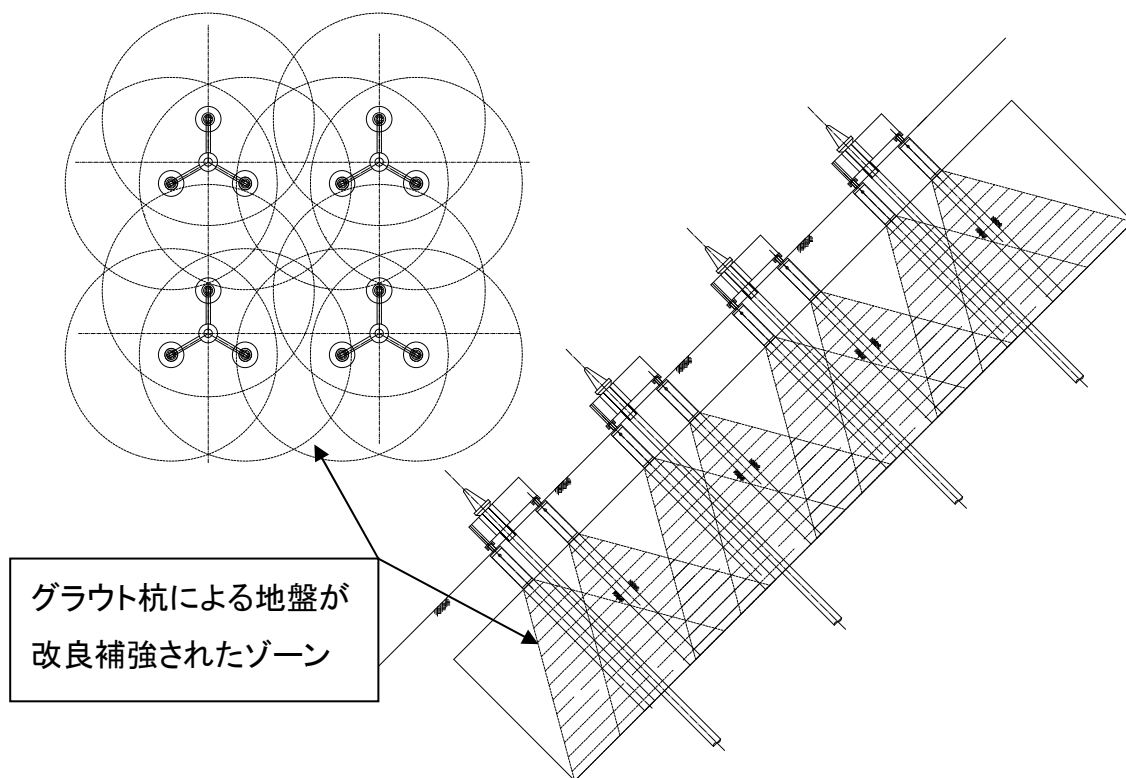


図 3.2 グラウト杭の補強ゾーン

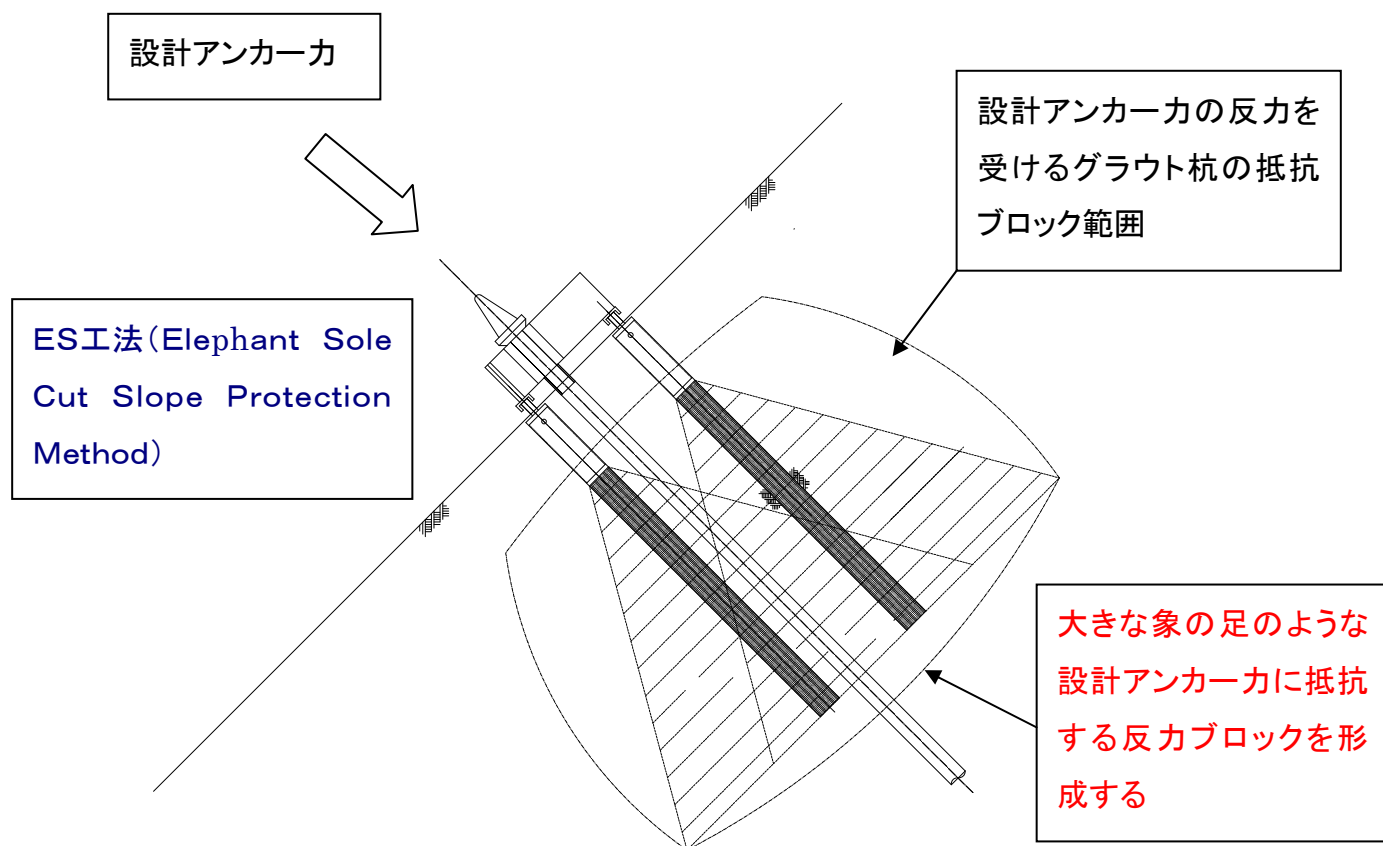


図 3.3 設計アンカー力に抵抗する反力ブロック図

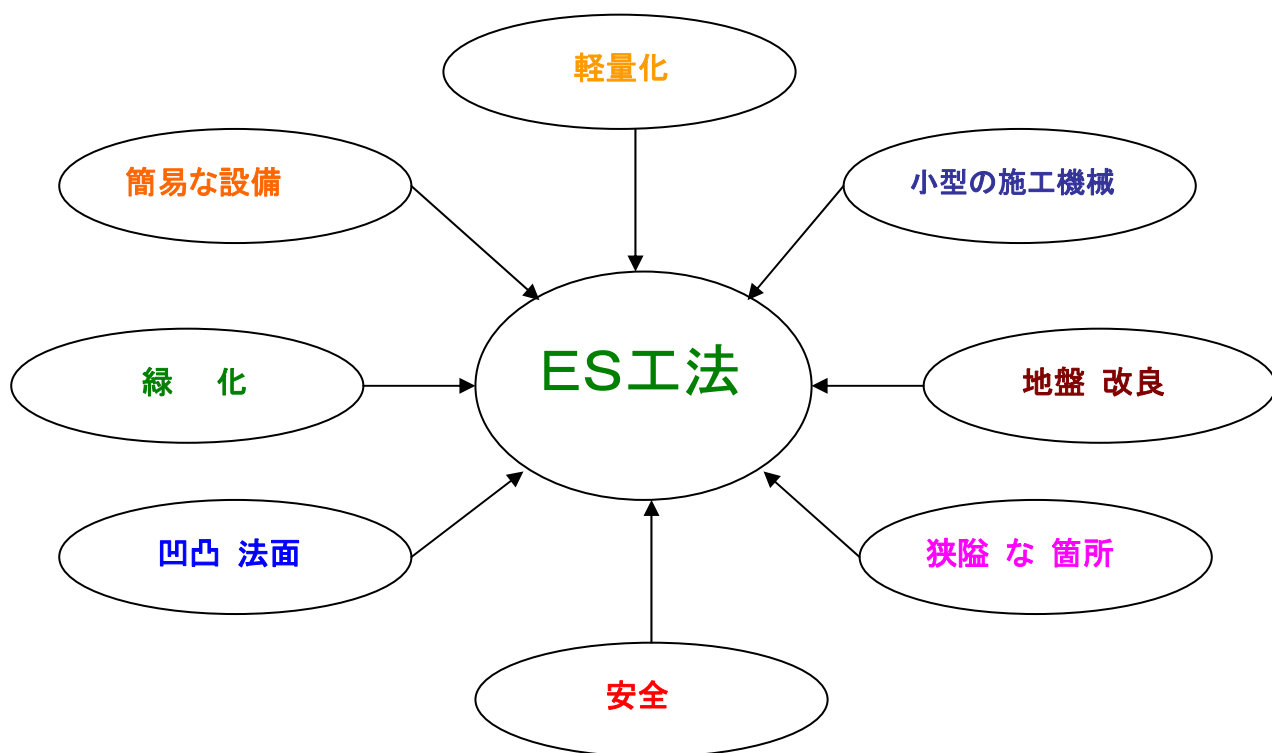


図 3.4 ES工法の特徴

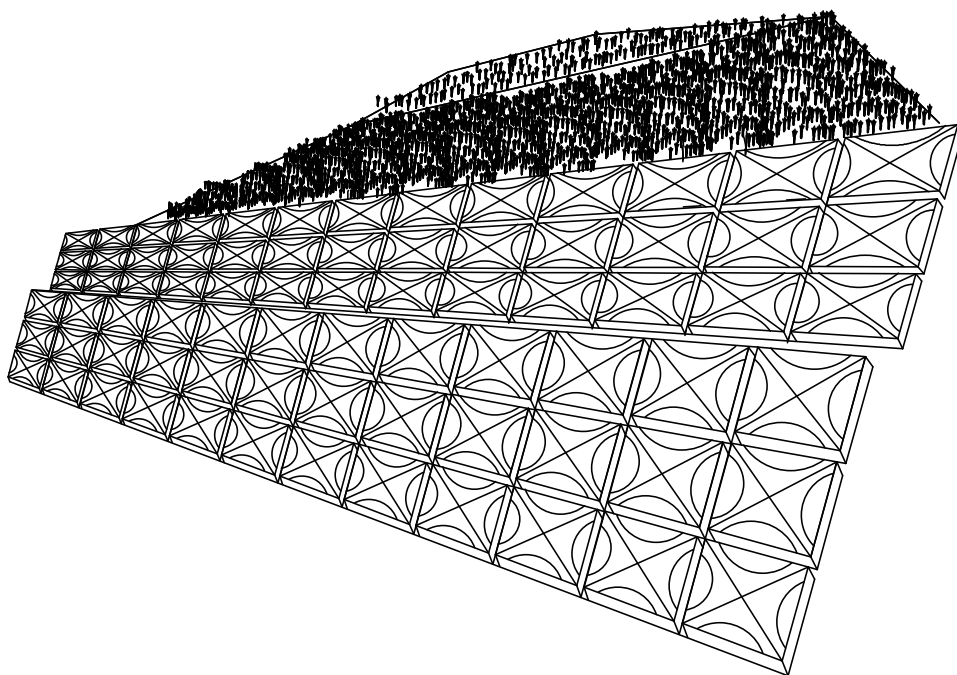


図 3.5 従来の受圧板を使用した法面

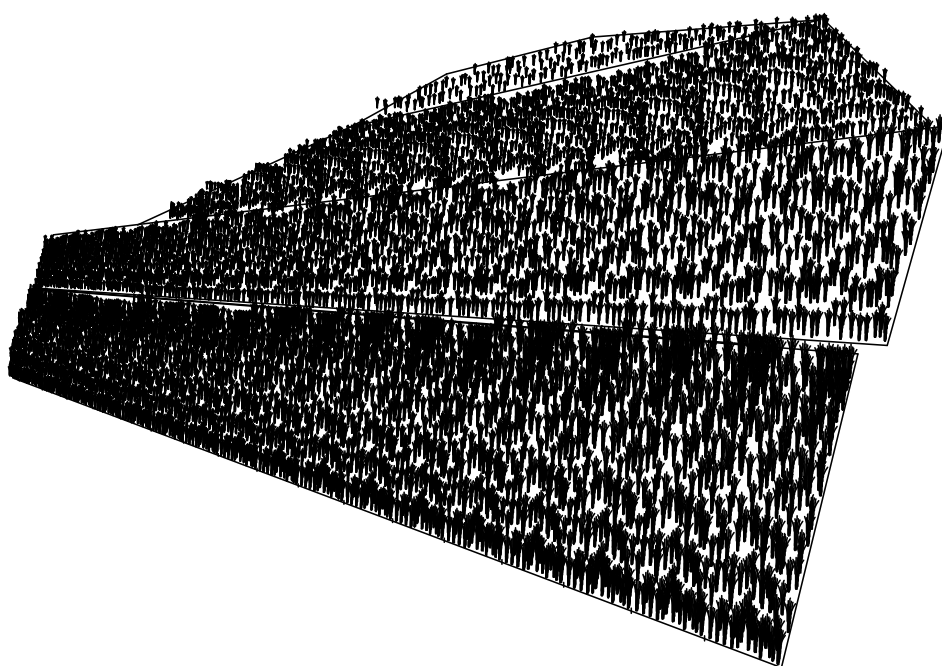


図 3.6 ES工法を採用した法面

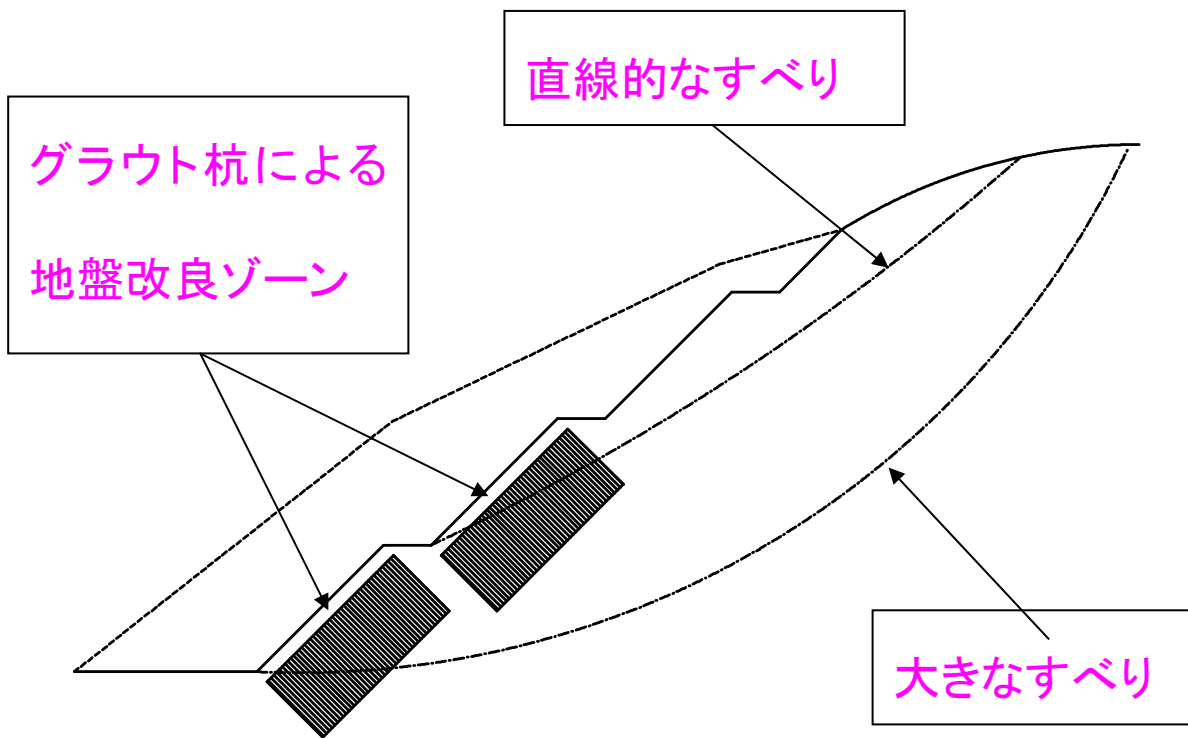


図 3. 7 グラウト杭の地盤補強ブロックとすべり面

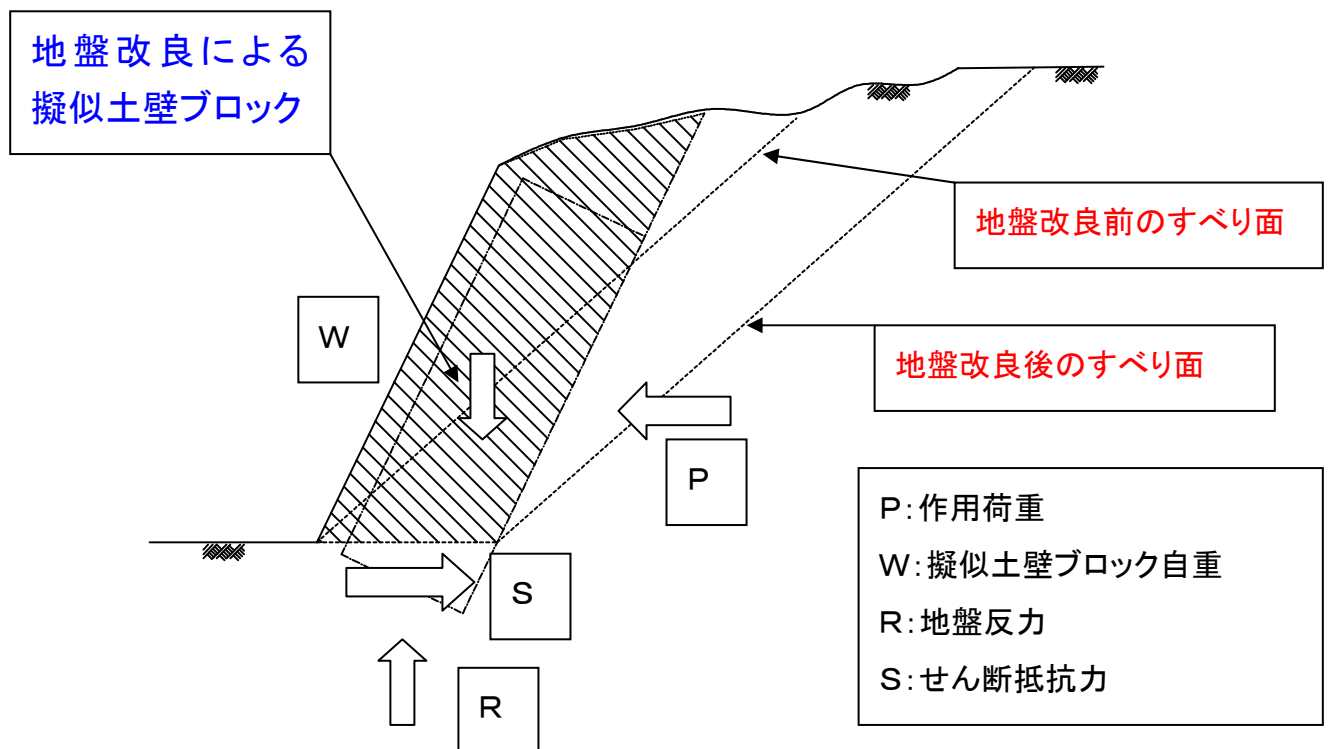


図 3. 8 切土法面地盤改良による擬似土壁ブロック図

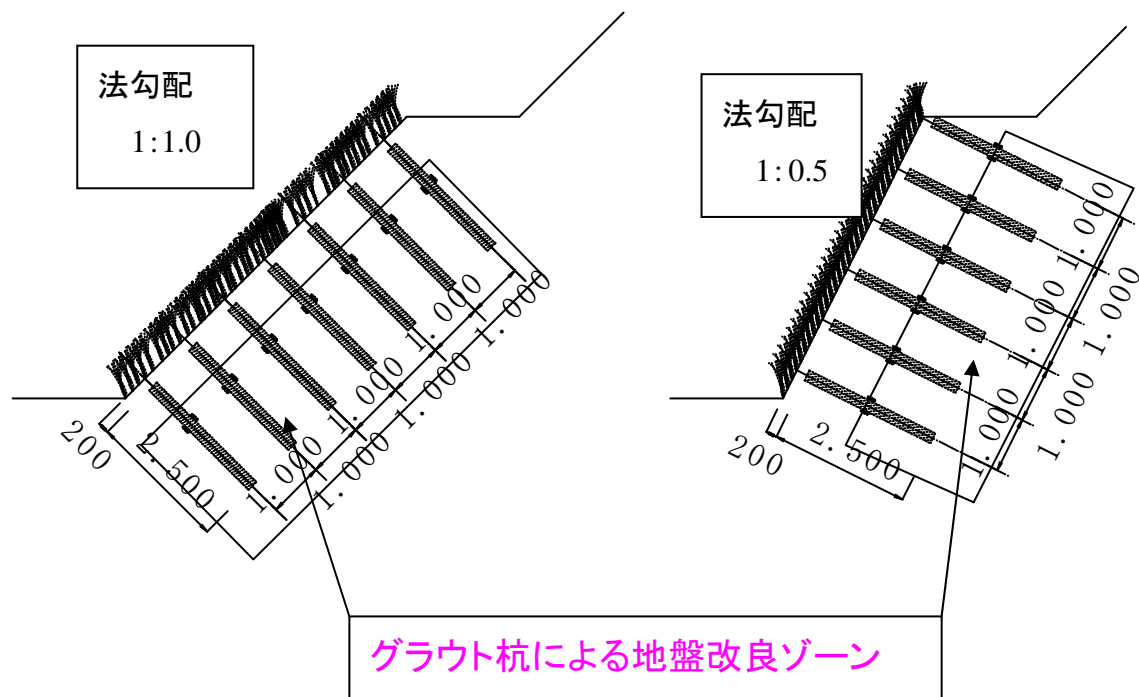


図 3.9 グラウト杭による切土法面地盤改良図

3.2 ES工法の開発目的と有効性

従来の法面の安定工法は、グラウンドアンカーやロックボルトを使用する工法が一般的であり、その設計アンカー力に対抗する反力については、法面の表面地盤の地耐力に見合った受圧面積が必要となる。PCフレーム工法などは、設計アンカー力が大きいほど受圧面積を大きく取らなければならないので、部材形状が大きくなり重量が増大することになる。その結果、法面のほとんどの部分をコンクリート製品で覆ってしまうことになり緑化が不可能となっている。

一方、切土法面の地中地盤を改良して法面の安定を図るという考え方は、具体的な施工方法が確立していないことやコストを比較する事例がないために、以前には発想されていない。本研究においては、その施工方法を確立させることが目的としている。

このような観点から、本研究では経済的で施工性の優れ、安全性を向上させているES工法を提案するものである。

ES工法は、グラウンドアンカー等の設計アンカー力を切土法面の地中地盤に反力を求める

工法であり、施工されるグラウト杭によって切土法面が地盤改良されたことと同等の効果を発揮しながら、グラウトされた周辺地盤を取り込み大きな補強ブロックが形成されている。図3. 3の設計アンカー力に抵抗する補強ブロック図から、大きな象の足(Elephant Sole)のように地盤の中でグラウト杭によって補強された土塊ブロックが、設計アンカー力に抵抗する構造となっている。法面に対して一定間隔で水平方向と垂直方向にES工法が配置されることで、グラウト杭によって補強された土塊ブロックが連続体となり、切土法面が地盤改良されている効果を発揮することになる。このように、ES工法は、切土法面を地盤改良する連続体の補強ブロックの効果により、法面全体の長期安定も確保することが可能な工法といえる。

施工機械は、特別な仕様の施工機械を使用する必要は無く、従来の施工機械を使用して施工する。ES工法のグラウト杭は、グラウンドアンカーやロックボルトの施工に使用する一般的な施工機械であるロータリーパーカッションドリルによって削孔し、その削孔された箇所にグラウトを充填することで造成される。したがって、グラウンドアンカーなどの施工と同じ機械を使用しているので、機械を入れ替えることなく連続施工が可能となり、施工効率の向上が図れることも特徴となっている。

施工方法は、法面を切土する段階ごとに順次法面上方から下方へ施工を行う手順となる。これは、逆巻き工法といわれ法面の安定を確保しながら切土工事を施工する工法である。ES工法は、この逆巻き工法を採用し、切土法面の安定を確保しながら順次切土工事を進める手順を基本として施工方法を立案している。

ES工法は、グラウンドアンカーなどの施工を行う機械を使用して施工効率を高め、切土法面の安定を確保しながら順次切土工事を進めることによって、切土法面の地盤改良の効果をあげながら法面全面の緑化ができる画期的な工法である。つまり、従来の技術を応用しながら新しい考え方を取り入れた工法であると考えられる。

グラウト杭による法面地盤の改良効果を利用して、図3. 8の切土法面地盤改良による擬似土壁ブロック図から、土構造物として擬似擁壁技術としても採用することが可能と考えられる。すべりに抵抗するためにグラウト杭の中に鉄筋を配置することによりさらに効果的にすべりに対する抵抗力を上げることが可能となる。図3. 9のグラウト杭による切土法面地盤改良図にあるように、グラウト杭による切土法面の地中地盤を補強する工法は、過去に事例が無い工法である。この提案についてもブロック積工法が必要な1:0.5程度の法面勾配においても、緑化を可能にする有効な工法として考えられる。この利点は以下ようになる。

切土法面の地盤を改良する利点

- 1) 1.0m～1.5mピッチにグラウト杭を打設することで、グラウト杭の周辺の土砂がブロッキング効果を発揮し、擬似土壁ブロックとして背面の土圧に抵抗している。

- 2) グラウト杭の中に鉄筋を配置することにより、直線的なすべりに抵抗することが可能となっている。
- 3) 設計アンカー力の反力は、グラウト杭の支持力と周辺地盤の摩擦力に取っている。
- 4) 切土勾配は、植生を併用することで、1:0.5 程度まで急勾配にすることが可能である。
- 5) 切土法面の安定を確保しながら施工する安全性が高い逆巻き工法を基本として施工方法を立案している。

以上が切土法面の地中地盤を改良する効果であるが、切土法面が緑化されることにより景観や環境を保全することも大きな成果であると考えられる。

ES工法は、切土法面だけでなく、グラウンドアンカーやロックボルトを使用する地すべり等に対しても使用することが可能であり、第2章で述べた現状の法面防護工が施工される箇所においてもES工法を使用した施工が可能である。さらに、地すべりの地中地盤をグラウト杭により改良補強し、地山のせん断強度を増加させながら、崩壊の防止をすることが可能であり、崩壊対策箇所が緑化されるので、景観や環境の保全に寄与することができる。自然環境に馴染まない景観になるようなコンクリート製品による受圧板から、周囲の自然環境と調和を図るために緑化ができるES工法の受圧装置への期待が、今後大きくなると考えられる。以上から、ES工法は、従来の白いコンクリートで覆われた景観ではなく、緑化された自然環境を創造し、景観の修復や環境の保全が可能な法面防護工法となっている。

3. 3 ES工法の構造とグラウト杭の支持力

3. 3. 1 上部プレートの構造

ES工法の上部プレートの基本概念は、船の錨をイメージして作成されている。荷重の小さなものは、スレンダーな構造となり、錨のデザインに近くなる。また、設計アンカー力が600kNを越えるものについては、図3. 14のES工法詳細図に示すように、アンカープレートなどの剛性を増した構造となる。ES工法の構造は、上部プレート、応力伝達管、グラウト杭に分かれており、上部プレートは、図3. 10の上部プレート詳細図に示す鋼製の翼プレート部分、鋼管パイプ部分の構造に分けられる。図3. 11は上部プレートの写真であるが、これは実証実験用にシンプルな形状で製作した上部プレートである。

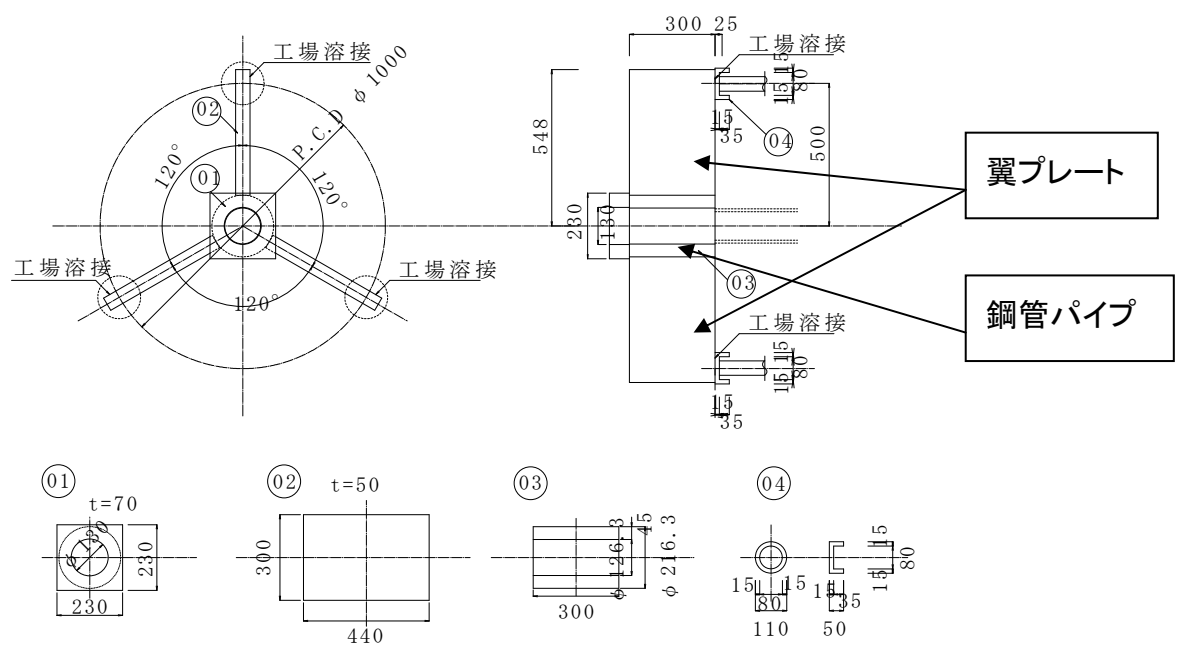


図 3. 10 上部プレート詳細図

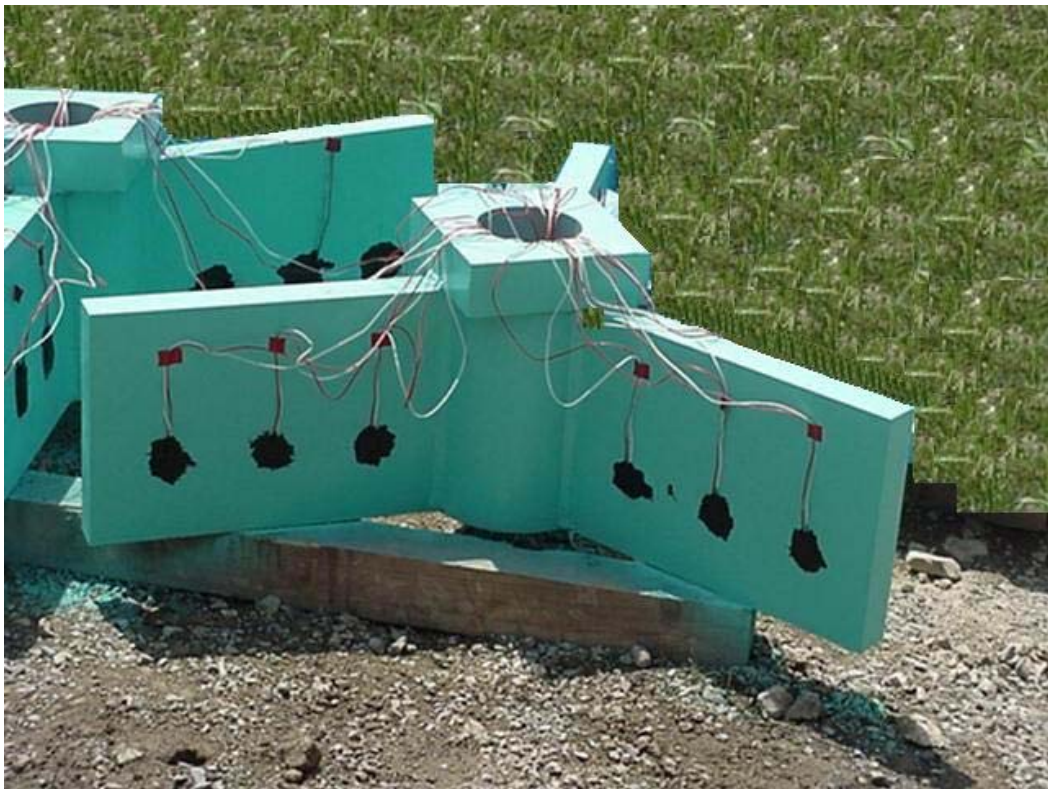


図 3. 11 上部プレート

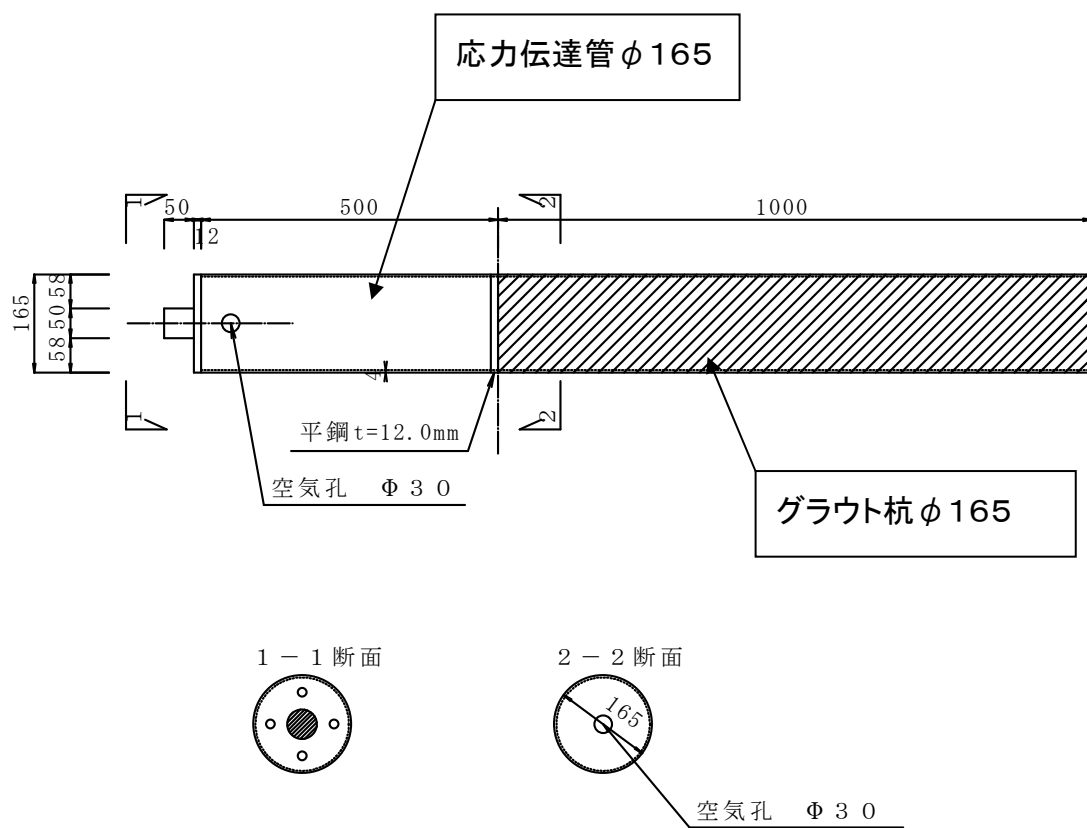


図 3. 12 応力伝達管(グラウト杭 $\phi 165\text{mm}$ に使用)

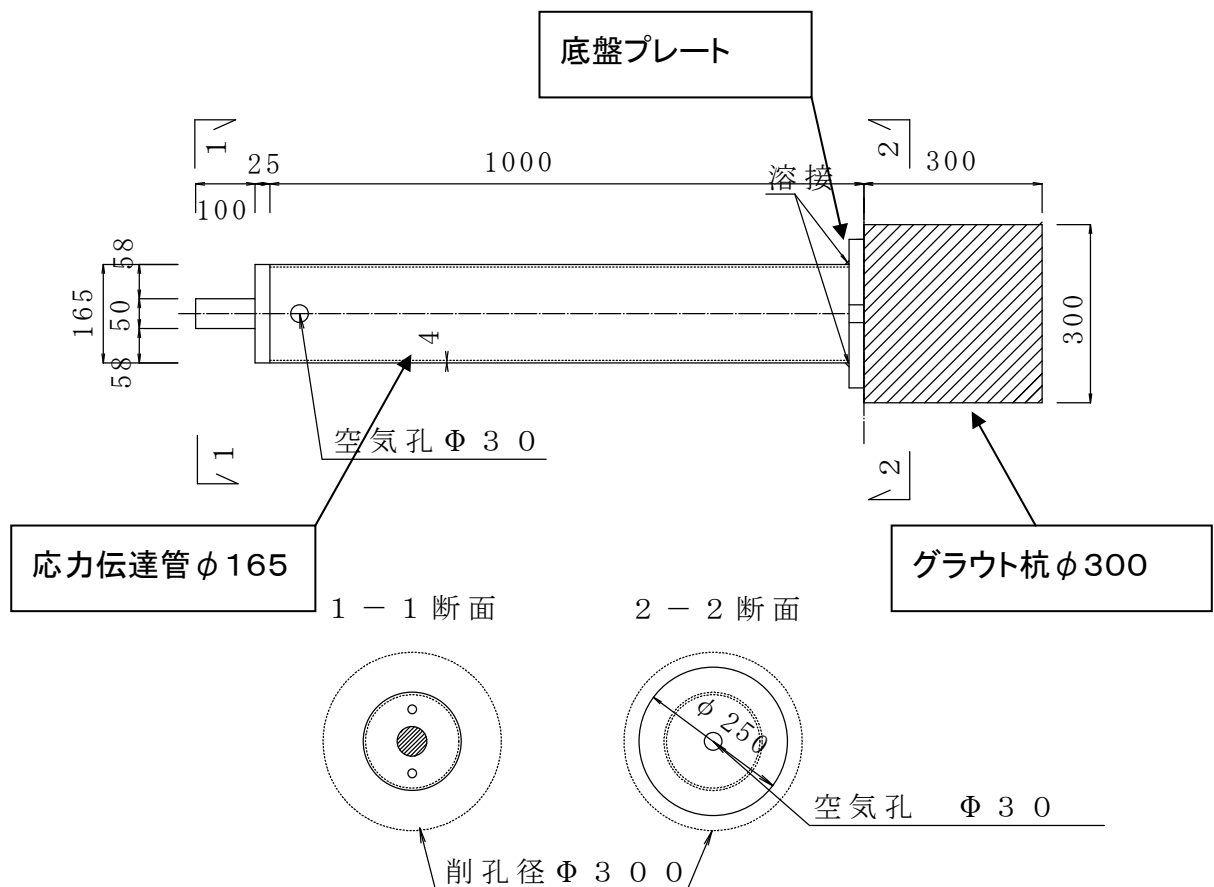


図 3. 13 応力伝達管(グラウト杭 $\phi 300\text{mm}$ に使用)

1 - 1 断面

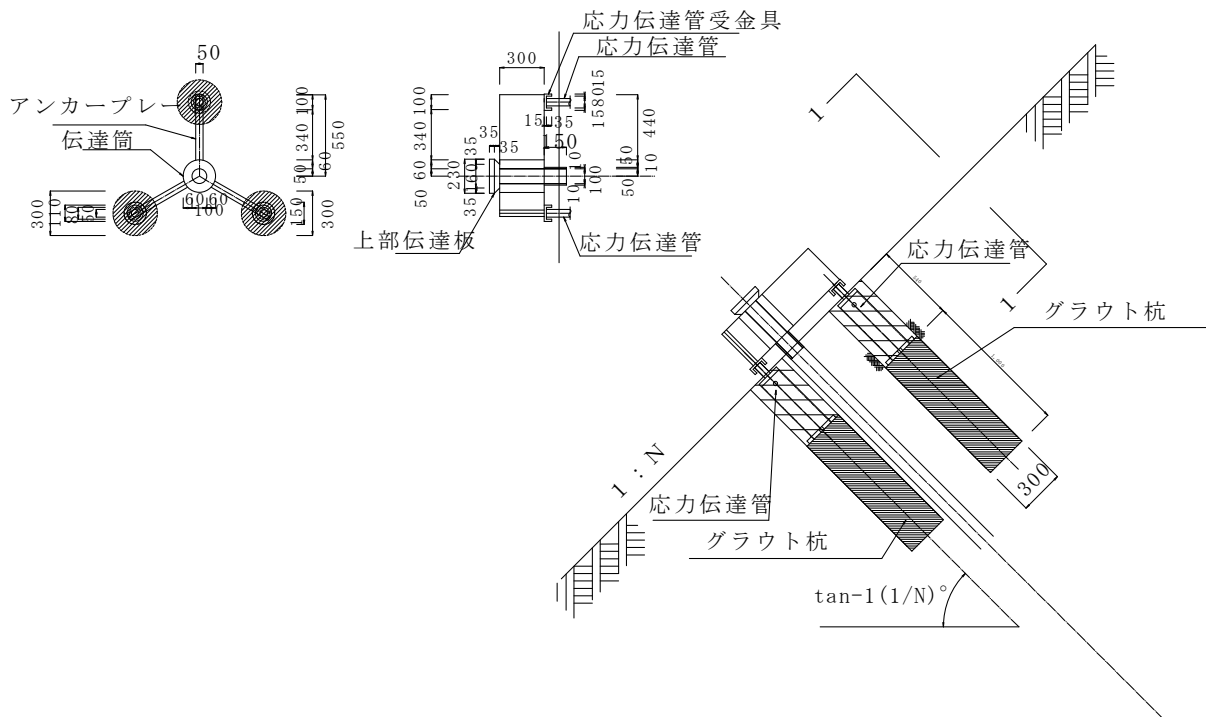


図 3. 14 ES工法詳細図

この上部プレートは、設計引張り力に見合うようにプレートの大きさや厚さを調整しデザインすることを可能にしている。しかし、上部プレートの規格をフリーにすることは経済的でないため、200kN ごとの段階にすることで実用化を考えている。

各段階は、200kN, 400kN, 600kN, 800kN, 1000kN, 1200kN を基本としている。また、鋼製であることから長期間の使用に耐えるためには、亜鉛メッキを施し腐食に対応し、周辺環境と合わせるために塗装することも必要である。

3. 3. 2 応力伝達管の構造

応力伝達管は、設計アンカー力の反力を受け、上部プレートにかかる荷重をグラウト杭に伝達することを目的としている。図3. 12, 図3. 13は、実証実験用に製作した応力伝達管であり、応力伝達管における底盤のプレートの径は、グラウト杭の径に合わせて製作している。本研究の実証実験では、応力伝達管の長さを50cm～100cmとし、短期的であることから、亜鉛メッキは施してはいない。しかし、上部プレートと同様に鋼製であることから長期間の使用の場合には亜鉛メッキを施して腐食に対応させる。実証実験における応力伝達管は一般構造用

炭素鋼鋼管を使用している。実験の応力伝達管の径と厚さは、 $\phi = 101.6mm, t = 4.2mm$ と $\phi = 165.2mm, t = 4.0mm$ としている。実用の施工においては、応力伝達管にかかる荷重に見合う一般構造用炭素鋼鋼管の径と厚さを決定する必要がある。

3. 3. 3 グラウト杭の支持力と周面摩擦力

グラウト杭は、ロータリーパーカッションドリルのビットおよびケーシングによって削孔された箇所に、削孔水とスライムを置き換えるためにセメントミルクあるいはモルタル(以下グラウトという)を充填する。グラウトの充填後、静かにケーシングとビットを引き抜くと、グラウト面がケーシングとビットの体積分が沈下するので、削孔天端まで再度グラウトを充填する。グラウトの配合は水セメント比50%、使用するセメントは早強セメント、目標強度は $\sigma_7 = 24N/mm^2$ 以上としている。また、養生期間は、7日間としている。このグラウトによって造成された杭は、グラウトが硬化することで支持力と周辺地盤の摩擦力が生まれて、上部プレートから応力伝達管を経て伝わってきた設計アンカー力を地盤へ伝えられる。

一般に杭の支持力は、杭先端の極限支持力と杭周面の摩擦力を足し合わせたものとなるが、実際の地盤では、荷重が小さいうちはほとんど周面摩擦力により受けもたれ、その後沈下が大きくなるにつれ周面摩擦力が極限状態に達すると、先端支持力が働くと考えられている。しかし、施工上からグラウト杭の径を大きくすることは経済性を損なうので、最大径を $\phi = 300mm$ 程度以下と考えているので、グラウト杭の支持力はグラウト先端の極限支持力よりもグラウト周面の摩擦力のほうがより働くと考えられる。グラウトと周辺地盤の摩擦力は、グラウンドアンカーのテンドンの定着と同様な働きをするので、地盤の周面摩擦抵抗値とグラウトが接している周辺地盤の面積の積としている。また、グラウトと地盤の間に発生する摩擦力は、地盤の種類に合った周面摩擦抵抗値を採用するので、地盤の種類によってグラウト杭の径と長さは変化する。本研究のES工法のグラウト杭は、グラウト杭の径を $\phi = 165mm \sim 300mm$ 、グラウト杭の長さを $L = 1.000m \sim 5.000m$ としている。これは、一般的な杭から比較すると小さな杭となっているが、杭の支持力公式にあるように、グラウト杭の支持力は杭先端の支持力と杭周面の摩擦力の和となると考えられる。

3. 3. 4 グラウト杭の地盤改良効果

図3. 15のグラウト杭による地盤改良効果図は、ES工法の受圧装置を連続して施工をした状況を表しており、設計アンカー力に抵抗する土塊ブロック(象の足(Elephant Sole))が連

なった状態を示している。グラウト杭の周面摩擦力が周辺地盤をブロックしながら、アンカーの引張力により地中側に向かって常に圧縮力を受ける状態になっている。グラウトによって補強された土塊ブロックが、グラウンドアンカー等に抵抗する反力となると同時に、図3. 8の切土法面地盤改良による擬似土壁ブロック図に示すように、補強された土塊ブロックが連続することによりすべりに対して抵抗している。さらに、グラウトの地盤改良効果により周辺地盤の強度が増加し、すべりに対して安全側に働くと考えられる。このようにアンカーの引張力による圧縮効果とグラウトの地盤改良効果の相乗効果が期待できることが、ES工法の特徴であると考えられる。

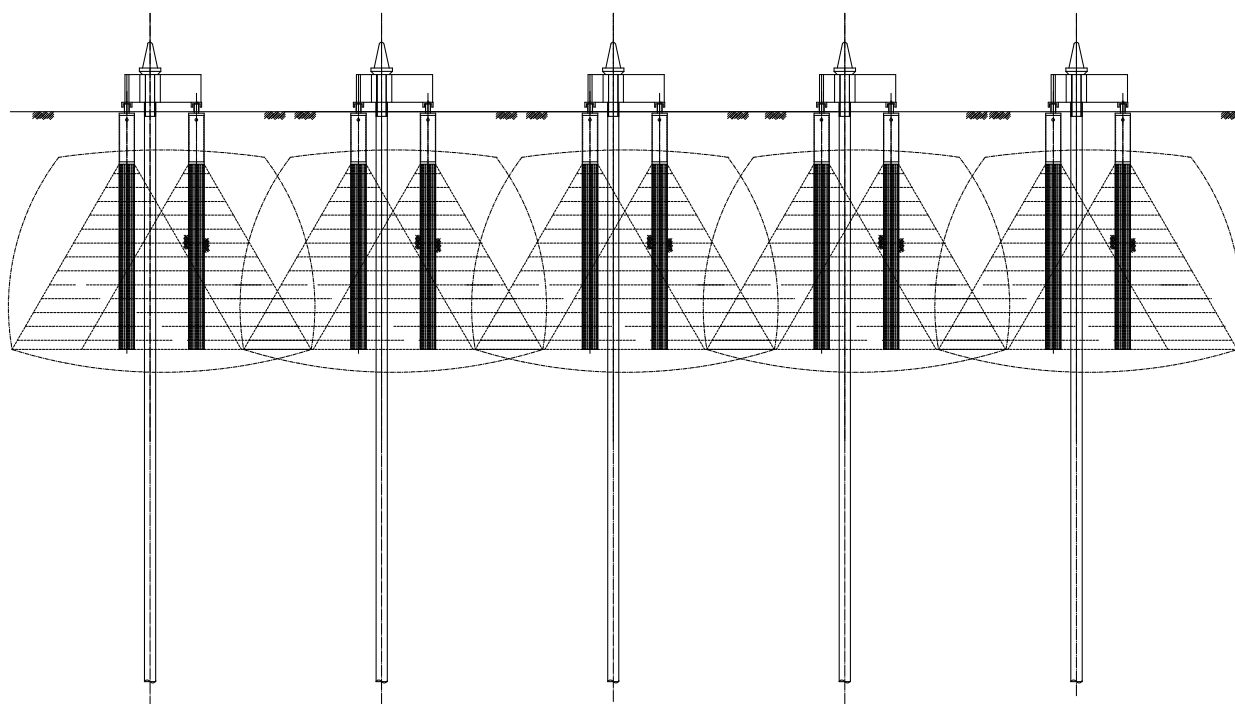


図 3. 15 グラウト杭による地盤改良効果図

従来のグラウンドアンカーやロックボルトを使用した法面防護工は、切土法面の土質状態や地盤の地耐力に見合った大きな受圧面積が必要とされることが法面の緑化を阻んできた。ES工法は、法面の地中において一定間隔で水平方向と垂直方向に土塊ブロックの連続体が反力を受け持つので、緑化が可能な法面防護工となっている。第4章の実用モデルの実証実験に当たり実験地盤の状態を詳細に調査し、杭としての効果を検証することを目的として実施している。また、実用に供するためにES工法の合理的な設計手法の確立を目指している。

3.4 切土法面の安定が確保される施工方法

斜面の安定を確保しながら法面防護工を行うことは、施工の安全性を確保する上で重要とされる。一般的には、切土した土の重量分が軽くなることで、切土した法面は応力が開放され、掘削面下に緩みを生じさせる。さらに、その緩み箇所雨水などが浸入し、切土法面が不安定な状態となり、ついには大規模な崩壊を引き起こすことになる。したがって、切土する段階ごとに法面を安定させていく手順としては、上段の切土した箇所から速やかに法面防護工を施工し、切土法面に緩みを発生させないことが重要となる。このように切土法面を掘削直後から安定させ、逐次下方へ切土を行う手順を繰り返しながら進めて行く施工方法が、逆巻き工法である。グラウンドアンカーやロックボルトを使用した法面防護工において、従来からの法面防護工法の施工手順に逆巻き工法が採用されており、施工計画を立案する場合には、法面の安定が確保される最良の施工方法と考えられている。

図3.16の切土法面の安定が確保される施工日数から、逆巻き工法が採用された従来の工法とES工法の施工日数を比較すると以下の通りとなる。

PCフレーム工法	法面の安定を確保する日数	11日
現場打ち支圧板工法	法面の安定を確保する日数	16日
ES工法	法面の安定を確保する日数	10日

現場打ち支圧板工法は法面の安定を確保する施工日数が16日と多くなっているが、PCフレーム工法とES工法には、大きな違いは無い。しかし、ES工法は、グラウト杭による地盤改良効果が期待できることから、施工開始から短期間で法面の安定が確保されていくことが、大きな違いとなっている。従来の法面防護工法は、法面の表面に反力を取るために設計アンカー力に見合う緊張力をかけた時点より法面の安定を確保することになるが、ES工法は施工の初期段階から法面の地盤改良効果を利用して切土法面の安定を確保する工法であることが、従来工法にない利点となっている。

従来からある逆巻き工法の施工手順を利用すると共に、新しい考え方を取り入れ切土作業開始の初期段階から短期間で切土法面の安定を図る施工方法の手順をフロー図に示している。また、その施工手順のフロー図に沿って施工を実施することで、実証実験における詳細な施工手順を検証している。

工法	施工種	施工日数																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P C フ レ ー ム 工 法	法面掘削・整形	■																			
	アンカー施工		■																		
	アンカーのグラウト養生			■	■	■	■	■	■	■											
	下地処理								■	■											
	PCスレーム設置										■	■									
	緊張											■	■								
	法面の安定を確保											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
現 場 打 ち 支 圧 板 工 法	法面掘削・整形	■																			
	アンカー施工		■																		
	アンカーのグラウト養生			■	■	■	■	■	■	■											
	下地処理								■	■											
	鋼製支圧板の設置										■	■									
	鉄筋組立											■	■								
	吹付コンクリート												■	■							
	吹付コンクリート養生													■	■	■	■	■	■	■	■
	緊張											■	■				■	■			
	法面の安定を確保																■	■	■	■	■
E S 工 法	法面掘削・整形	■																			
	アンカー施工		■																		
	アンカーのグラウト養生			■	■	■	■	■	■	■											
	グラウト杭削孔		■																		
	グラウト杭養生			■	■	■	■	■	■	■											
	応力伝達管設置		■																		
	上部プレート設置									■	■										
	緊張										■	■									
	地盤改良の効果						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	法面の安定を確保										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

図 3. 16 切土法面の安定が確保される施工日数

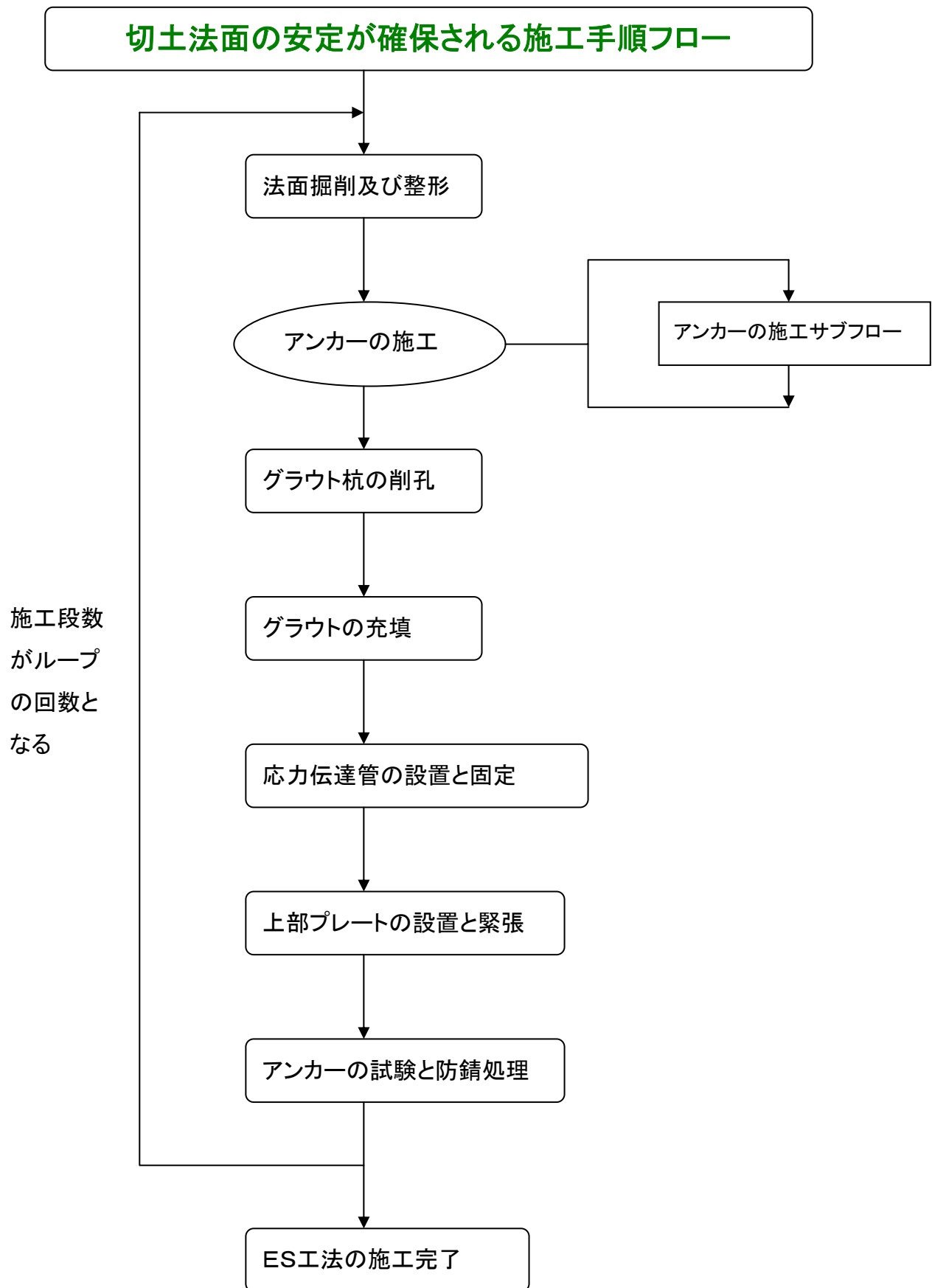


図3. 17 切土法面の安定が確保される施工手順

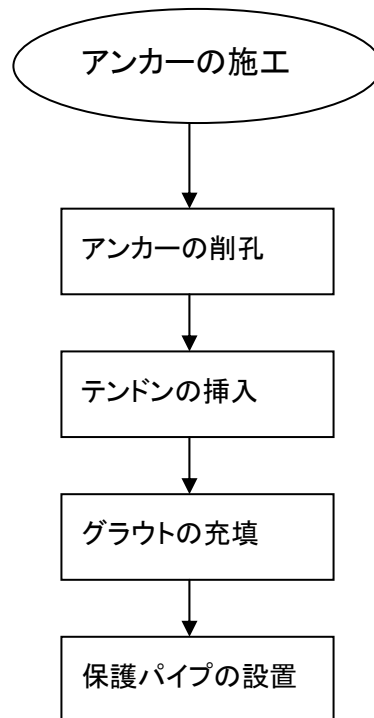


図3. 18 アンカー施工のサブ施工手順フロー

(1) 法面掘削及び整形

施工機械 : バックホウ, ブルドーザ

作業人員 : 地山掘削作業主任者 1名

オペレーター 1名

作業員 1名

作業内容 : a) 測量によって設置された遣り方から切土する位置を明示する。

b) 地山掘削作業主任者は, 切土開始位置をオペレーターに指示をする。

c) オペレーターは, バックホウにより切土を実施する。

d) 作業員は, バックホウで整形できない箇所を人力で整形をする。

e) 地山掘削作業主任者は, 重機の安全, 重機と作業員が交錯しないように監視及び指揮する。

f) 切土作業は, ES工法の1段分を施工する範囲の切土高さとする。

g) 地山掘削作業主任者は, 作業中の重機足場の安全を確認する。

(2) アンカーの施工

施工機械 : ロータリーパーカッションドリル, グラウトポンプ

作業人員 : オペレーター 1名

作業員 2名

- 作業内容 : a) オペレーターは, ロータリーパーカッションドリルにてアンカーの削孔を行う。
- b) 作業員は, 掘削の進行と共にケーシングを掘削深さまで継ぎ足す。
- c) 削孔完了後, オペレーターは, 削孔した孔内を清水により洗浄し, スライムを除去する。
- d) 作業員は, 孔内に残っている洗浄水とグラウト材との置換注入を行う。
- e) 作業員は, テンドンあるいはPC鋼棒を削孔内に挿入する。
- f) 作業員は, テンドン挿入後, 空隙のないアンカー体を形成するために加圧注入を行う。
- g) 作業員は, テンドンの共上がりを注意しながら, ケーシングを引き抜き, グラウトが沈下した分について再度グラウトを充填する。

(3) グラウト杭の削孔

施工機械 : ロータリーパーカッションドリル

作業人員 : オペレーター 1名

作業員 2名

- 作業内容 : a) オペレーターは, ロータリーパーカッションドリルにてアンカーの削孔を行う。
- b) 作業員は, 掘削の進行と共にケーシングを掘削深さまで継ぎ足す。
- c) 削孔完了後, オペレーターは, 削孔した孔内を清水により洗浄し, スライムを除去する。

(4) グラウトの充填

施工機械 : グラウトポンプ

作業人員 : オペレーター 1名

作業員 2名

作業内容 : a)作業員は、グラウトの配合表に従って計量し、ミキシングを行う。

b)作業員は、グラウトポンプにより孔内に残っている洗浄水とグラウト材を置換するためにグラウトを充填する。

(ア) グラウトの配合

表3. 2 グラウト配合例

グラウト配合例			
セメント	W/C %	単位量 kgf/m ³	
		W	C
早強セメント	50	610	1220

(イ) グラウトの品質管理

設計基準強度 24 N/mm^2

セメント 早強ポルトランドセメント

細骨材 塩化物などの有害な物質を含まない 2 mm 以下の粒度分布の良い砂。

水 塩化物などの有害な物質を含まない水を使用する。水温は10℃以上にする。

(ウ) 圧縮強度の確認

$\sigma_7 = 24 N/mm^2$ 以上の確認を行い、次工程に移行する。

(5) 応力伝達管の設置と固定

施工機械 : 無

作業人員 : 作業員 2名

作業内容 : a) 作業員は、人力にて応力伝達管の設置を行う。

b) テンドンあるいはPC鋼棒と応力伝達管との位置関係が正確に配置されるように応力伝達管は、定規となる合板型枠等を使用して固定する。

(6) 上部プレートの設置

施工機械 : クローラテレスコピッククレーン, バックホウ

作業人員 : オペレーター 1名

作業員 2名

作業内容 : a)オペレーターは, 上部プレートをクローラテレスコピッククレーンにて吊り上げる。

b)作業員は, テンドンあるいはPC鋼棒に傷を付けないように設置する。

c)作業員は, アンカーヘッドを上部プレートに設置する。

d)作業員は, テンドンあるいはPC鋼棒を設計荷重で緊張する。

e) 上部伝達管内の防食処理を行う。

(7) アンカーの試験と防錆処理

作業内容 : a)「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説」第 8 章にしたがって以下の試験を行う。

基本調査試験は, 引き抜き試験と長期試験を行う。

品質保証試験は, 多サイクル確認試験と 1 サイクル確認試験を行う。

b)アンカーの試験が完了した後に, 緊張したアンカー頭部に防錆処理を施してから, キャップをセットする。

切土法面の安定が確保される施工手順は, ES工法の実用化するためには重要な計画となることから, 施工の手順をフロー図に沿って具体的に述べている。また, 第4章の実用モデルによる実証実験においては, この施工手順を検証することも目的としており, 施工性や経済性を追及している結果についても述べる。

3.5 従来工法とES工法のコスト比較

実用モデルにおける実証実験は、施工方法の検証と共に施工性及び経済性の検証も行っていることから、実施した施工の歩掛りを把握することで施工費を積算する基本データとして施工コストを算出している。従来の法面防護工法においては、各工法が主催する協会が設立されており、その協会が公表している工法の標準歩掛りにより施工コストを算出し、ES工法との比較を行っている。以下に代表的な法面防護工法であるPCフレーム工法や現場打ち支圧板工法とES工法とのコスト比較を行なっている。条件を同じにするために、設計アンカー力 $600kN$ の仕様として、算出された1箇所当たりの材料費と施工費は次のとおりである。

従来工法	PCフレーム工法	¥483,325-
	現場打ち支圧板工法	¥326,556-
提案工法	ES工法	¥167,137-

コスト比較においては、他の工法と比較して、大幅なコストダウンを実現しており、従来工法の半分以下となっている。ここで、施工費のグラフを示し、次に積算の根拠を述べる。

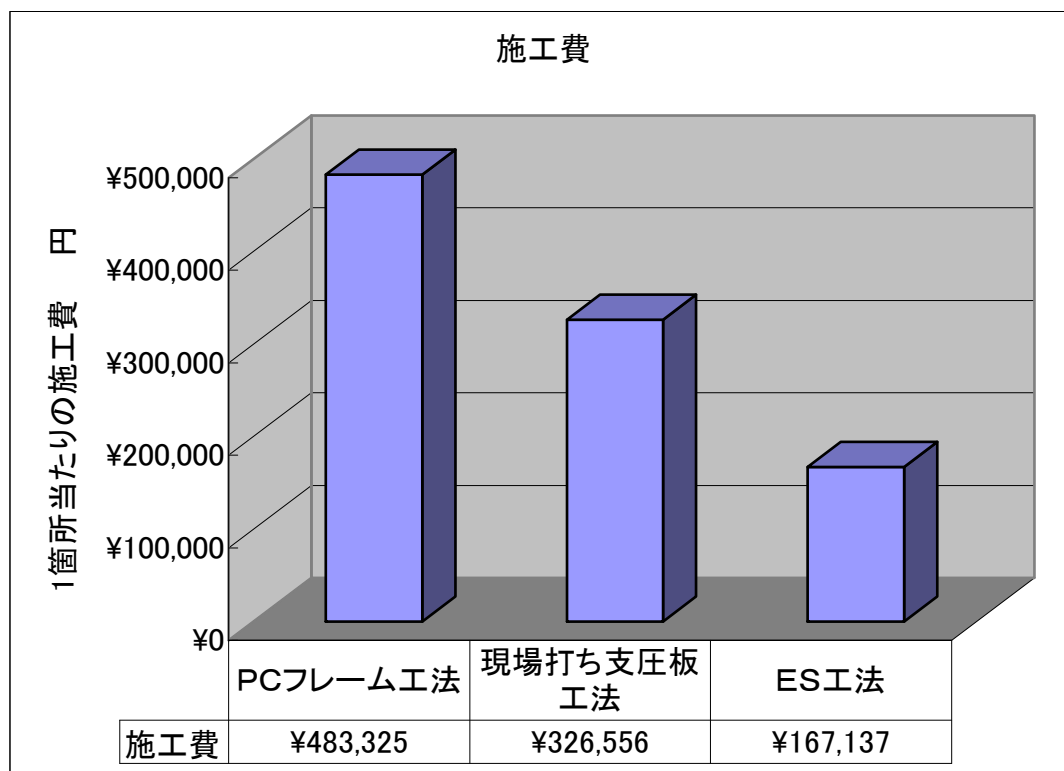


図3.19 従来工法とES工法の施工費の比較

表3. 3 PCフレーム工法の材料費と施工費の算出表

PCフレーム協会の歩掛による施工費の算出						
種別	名称	単位	数量	単価	金額	摘 要
PCフレーム	材料費及び施工費	箇所	1		483,325	
1. 下地処理 (10箇所当たり)						
労務費	のり面工	人	0.5	18,700	9,350	
	普通作業員	人	2	13,900	27,800	
雑材料		%	20	372	7,430	モルタル等上記合計金額に対する率
合計金額		箇所	10		44,580	
1箇所当たりの施工費		箇所	1		4,458	
2. PCフレーム設置 (10箇所当たり)						
労務費	世話役	人	2	20,300	40,600	
	のり面工	人	2	18,700	37,400	
	特殊運転工	人	2	18,100	36,200	
	普通作業員	人	4	13,900	55,600	
機械損料	ホイールクレーン25t吊り	日	2	40,000	80,000	
雑材料		%	2	1,698	3,396	労務費合計金額に対する率
合計金額		箇所	10		253,196	
1箇所当たりの施工費		箇所	1		25,320	
3. 伝達筒内防蝕工 (10箇所当たり)						
労務費	特殊運転工	人	0.7	18,100	12,670	
	普通作業員	人	0.7	13,900	9,730	
材料費		%	10	224	2,240	上記合計金額に対する率
合計金額		箇所	10		24,640	
1箇所当たりの施工費		箇所	1		2,464	
4. 一次緊張工 (10本当たり)						
労務費	世話役	人	1.5	20,300	30,450	
	のり面工	人	3	18,700	56,100	
	特殊運転工	人	1.5	18,100	27,150	
	普通作業員	人	1.5	13,900	20,850	
機械損料	トラッククレーン4.8t吊り	日	1.5	40,000	60,000	
	コンプレッサー	日	1.5	1,800	2,700	
	発電機	日	1.5	5,400	8,100	
	ジャッキ	日	1.5	900	1,350	
雑材料		%	2	2,067	4,134	労務費合計金額に対する率
合計金額		箇所	10		210,834	
1箇所当たりの施工費		箇所	1		21,083	
7. 材料費						
PCフレーム						
PCフレーム HS300-45	設計荷重60t用	個	1	430,000	430,000	
合計金額		箇所	1		430,000	
1箇所当たりの材料費		箇所	1		430,000	

表3. 4 現場打ち支圧板工法の材料費と施工費の算出表

グラスブ協会の歩掛による施工費の算出						
種別	名称	単位	数量	単価	金額	摘 要
グラスブ工	材料費及び施工費	箇所	1		326,556	

1. 下地処理 (10箇所当たり)						
労務費	のり面工	人	0.5	18,700	9,350	
	普通作業員	人	2	13,900	27,800	
雑材料		%	20	372	7,430	モルタル等上記合計金額に対する率
合計金額		箇所	10		44,580	
1箇所当たりの施工費		箇所	1		4,458	
2. 鋼製支柱板設置 (10箇所当たり)						
労務費	世話役	人	1.7	20,300	34,510	
	のり面工	人	2	18,700	37,400	
	特殊運転工	人	0.6	18,100	10,860	
	普通作業員	人	1.2	13,900	16,680	
機械損料	トラッククレーン	日	0.6	40,000	24,000	
	コンプレッサー	日	0.2	1,800	360	
雑材料		%	1	1,238	1,238	労務費合計金額に対する率
合計金額		箇所	10		125,048	
1箇所当たりの施工費		箇所	1		12,505	
3. 伝達筒内防蝕工 (10箇所当たり)						
労務費	特殊運転工	人	0.7	18,100	12,670	
	普通作業員	人	0.7	13,900	9,730	
材料費		%	10	224	2,240	上記合計金額に対する率
合計金額		箇所	10		24,640	
1箇所当たりの施工費		箇所	1		2,464	
4. 一次緊張工 (10本当たり)						
労務費	世話役	人	1.5	20,300	30,450	
	のり面工	人	3	18,700	56,100	
	特殊運転工	人	1.5	18,100	27,150	
	普通作業員	人	1.5	13,900	20,850	
機械損料	トラッククレーン4.8t吊り	日	1.5	40,000	60,000	
	コンプレッサー	日	1.5	1,800	2,700	
	発電機	日	1.5	5,400	8,100	
	ジャッキ	日	1.5	900	1,350	
雑材料		%	2	2,067	4,134	労務費合計金額に対する率
合計金額		本	10		210,834	
1箇所当たりの施工費		本	1		21,083	
5. 鉄筋籠据付工 (1t当たり)						
労務費	世話役	人	1.8	20,300	36,540	
	鉄筋工	人	1.8	18,700	33,660	
	のり面工	人	5.2	18,700	97,240	
	特殊運転工	人	1.8	18,100	32,580	
	普通作業員	人	2.6	13,900	36,140	
機械損料	トラッククレーン4.8t吊り	日	1.8	40,000	72,000	
	コンプレッサー	日	0.8	1,800	1,440	
雑材料		%	1	3,096	3,096	労務費合計金額に対する率
合計金額		t	1		312,696	
1箇所当たりの施工費		t	0.07	312,696	21,263	
6. 金網型枠据付工 (100m2当たり)						
労務費	世話役	人	11.7	20,300	237,510	
	のり面工	人	27.4	18,700	512,380	
	普通作業員	人	27.4	13,900	380,860	
雑材料		%	2	11,308	22,615	上記合計金額に対する率
合計金額		m ²	100		1,490,420	
1箇所当たりの施工費		m ²	3.7	14,904	55,146	
7. RC受圧板 (1m3当たり)						
労務費	世話役	人	0.18	20,300	3,654	
	のり面工	人	0.54	18,700	10,098	
	特殊作業員	人	0.18	17,600	3,168	
	特殊運転工	人	0.18	18,100	3,258	
	普通作業員	人	0.72	13,900	10,008	
機械損料	コンクリート吹付機	日	0.18	9,460	1,703	
	コンプレッサー	日	0.18	1,800	324	
	コンクリートミキサー	日	0.18	1,400	252	
	発電機	日	0.18	5,400	972	
	計量機	日	0.18	1,200	216	
	トラクターショベル	日	0.18	8,500	1,530	
	揚水ポンプ	日	0.18	230	41	
	ヘルコンベヤ	日	0.53	1,000	530	
雑材料		%	2	358	715	労務費合計金額に対する率
合計金額		m ³	1		36,469	
1箇所当たりの施工費		m ³	1.71	36,469	62,408	

8.材料費						
	グラスプエ	(10箇所当たり)				
	鋼製支圧板	SP8022	個	10	113,000	1,130,000
	ガイドパイプ	STK400	個	10	3,700	37,000
	RC受圧板 鉄筋籠	RC1850	t	0.68	90,000	61,086
	RC受圧板 金網型材	RC1850 b=500	m	74	3,300	244,200
	合計金額		箇所	10		1,472,286
	1箇所当たりの材料費		箇所	1		147,229

表3. 5 ES工法の材料費と施工費の算出表

ES工法の歩掛による施工費の算出						
種別	名称	単位	数量	単価	金額	摘 要
ES工法	材料費及び施工費	箇所	1		167,137	

1. グラウト杭削孔				(1箇所当たり)			3本削孔	
	労務費	世話役	人	0.19	20,300	3,806		
		のり面工	人	0.19	18,700	3,506		
		普通作業員	人	0.19	13,900	2,606		
	雑材料		%	5	99	496	モルタル等上記合計金額に対する率	
	機械損料	ロータリーパーカッションドリル	日	0.19	85,500	16,031		
	合計金額		箇所	1		26,446		
	1箇所当たりの施工費		箇所	1		26,446		
2. グラウト工				1m3当たり				
	労務費	世話役	人	0.24	20,300	4,953		
		特殊作業員	人	0.24	17,600	4,294		
		普通作業員	人	0.49	13,900	6,783		
	雑材料	諸雑費	%	21	160	3,366	グラウトミキサー、グラウトポンプ、ポンプ、水車	
	材料費	グラウト注入材	m3	1	50,000	50,000		
	合計金額		m3	1		69,397		
	1箇所当たりの施工費		m3	0.38	69,397	26,476		
3. 応力伝達管設置				(1箇所当たり)				
	労務費	世話役	人	0.13	20,300	2,538		
		特殊運転工	人	0.13	18,100	2,263		
		普通作業員	人	0.13	13,900	1,738		
	雑材料		%	3	65	196	労務費合計金額に対する率	
	合計金額		箇所	1		6,734		
	1箇所当たりの施工費		箇所	1	6,734	6,734		
4. 上部プレート設置				(1箇所当たり)				
	労務費	世話役	人	0.13	20,300	2,538		
		特殊運転工	人	0.13	18,100	2,263		
		普通作業員	人	0.13	13,900	1,738		
	機械損料	クローラテレスコピッククレーン	日	0.13	37,800	4,725		
	雑材料		%	1	113	113		
	合計金額		箇所	1		11,375		
	1箇所当たりの施工費		箇所	1	11,375	11,375		
5. 伝達筒内防蝕工				(10箇所当たり)				
	労務費	特殊運転工	人	0.7	18,100	12,670		
		普通作業員	人	0.7	13,900	9,730		
	材料費		%	10	224	2,240	上記合計金額に対する率	
	合計金額		箇所	10		24,640		
	1箇所当たりの施工費		箇所	1		2,464		
4. 一次緊張工				(10本当たり)				
	労務費	世話役	人	1.5	20,300	30,450		
		のり面工	人	3	18,700	56,100		
		特殊運転工	人	1.5	18,100	27,150		
		普通作業員	人	1.5	13,900	20,850		
	機械損料	トラッククレーン4.8t吊り	日	1.5	40,000	60,000		
		コンプレッサー	日	1.5	1,800	2,700		
		発電機	日	1.5	5,400	8,100		
		ジャッキ	日	1.5	900	1,350		
	雑材料		%	2	2,067	4,134	労務費合計金額に対する率	
	合計金額		箇所	10		210,834		
	1箇所当たりの施工費		箇所	1		21,083		

8.材料費						
ES工法	1個当たり					
上部プレート	加工費含み	t	0.17	200,000	33,318	
応力伝達管	加工費含み	t	0.22	180,000	39,242	
合計金額		箇所	1		72,559	
1箇所当たりの材料費		箇所	1		72,559	

3.6 まとめ

本章では、ES工法の開発目的、ES工法の受圧装置の構造、グラウト杭の支持力、地盤改良効果、施工方法及び従来工法とのコスト比較について述べている。ここでは、以下にその内容をまとめている。

ES工法の開発目的

- 1) 切土法面の崩壊防止を目的とするだけで無く、周囲の自然環境に調和する切土法面防護工が望まれている背景がある。
- 2) 従来の工法は、コンクリートの地肌が法面を覆い、周辺環境に調和する景観が配慮されている工法でない。
- 3) 切土法面全面を緑化する法面防護工法が無い。
- 4) 少子・高齢化時代を迎えて、社会資本の整備にはコストの縮減が必要である。

以上のニーズを捉えて、切土法面の長期安定性が確保され、コストの縮減を図ることを目的とし、周辺環境に調和した景観を作り出す緑化のできる法面防護工として、ES工法を開発している。

ES工法の受圧装置の構造

- 1) ES工法の構造は、鋼製の上部プレート部分、応力伝達管、グラウト杭に分かれる。
- 2) 上部プレートは、設計アンカー力に見合ったプレートの大きさや厚さに調整する。
- 3) 応力伝達管は、上部プレートにかかる荷重をグラウト杭に伝えている。
- 4) 長期間の使用に対して、上部プレートは亜鉛メッキを施し、周辺環境と同化させるため塗装も行う。
- 5) 応力伝達管は、ほとんど削孔内のグラウト内に埋まってしまうが、長期間の使用に対しては亜鉛メッキを施すことが基本としている。
- 6) グラウト杭は、グラウト杭の径を $\phi = 165\text{mm} \sim 300\text{mm}$ 、グラウト杭の長さを

$L = 1.000m \sim 5.000m$ としている。

- 7) グラウトの配合は水セメント比 50% , 使用するセメントは早強セメント, 目標強度は $\sigma_7 = 24N/mm^2$ 以上とし, 養生期間を 7 日間としている。
- 8) グラウト杭は, 切土法面の地中の地盤を改良して, グラウトの周面摩擦と支持力で設計アンカー力に抵抗する反力となっている。
- 9) 上部プレートが切土法面に露出するだけなので, 95%以上の法面面積を緑化することができる。また, 上部プレートを地中に埋め込むことが可能であるので, 法面を全面緑化することも可能である。

グラウト杭の支持力と地盤改良効果

- 1) グラウト杭は, 杭先端の支持力と杭周面の摩擦力によりグラウンドアンカーやロックボルトの設計アンカー力に抵抗できる。
- 2) グラウト杭は, 周辺地盤をブロッキングして, 導入されたアンカー力により地中側に向かって常に圧縮力を受ける状態となっている。
- 3) グラウト杭は, 土塊ブロック(象の足(Elephant Sole))を形成している。
- 4) グラウト杭によって形成された土塊ブロックは, 水平方向と垂直方向に連続体となるので, 擬似土壁ブロックを形成している。
- 5) 擬似土壁ブロックは, 地盤改良効果により, 全体のすべりに対して抵抗する強度の増加したゾーンとなり切土法面全体の安定を向上させている。

施工方法

- 1) 逆巻き工法を採用することにより切土法面の安定を確保しながら, 下方へ切土掘削が行えるので安全性が高い。
- 2) 従来工法は, 法面の表面に反力を取るため設計アンカー力に見合う緊張力をかけた時点で法面の安定が確保されることになるが, ES工法では施工の初期段階からグラウト杭による法面の地盤改良効果によって, 切土法面の安定が確保されている。
- 3) 上部プレート及び応力伝達管は鋼製なので, コンクリート製品に比較して軽量となっている。
- 4) 上部プレート及び応力伝達管は軽量なので, 小型の施工機械で施工が可能となっている。
- 5) ES工法は, 軽量化したことで, 削孔作業や受圧装置設置作業において施工性が向上している。

- 6) ES工法は、簡易な施工設備で施工ができるので、堅固な工事用道路や広範囲な施工ヤードを必要としない。
- 7) ES工法は、大型揚重機が不要となり重大事故につながる作業が無いので、安全性が高い。
- 8) ES工法は、狭隘な箇所でも施工が可能である。
- 9) ES工法は、切土法面だけでなく、グラウンドアンカーなどを使用する地すべりにも適用できる。
- 10) ES工法は、周辺環境に調和した景観を保全する緑化が可能である。

従来工法とのコスト比較

条件を同じにした施工費比較において、他の工法より経済性が優れており、コスト縮減を実現している。このようにコスト縮減が可能になった理由として以下のことがあげられる。

- 1) 軽量化及びコンパクト化している。
- 2) 小型の施工機械と簡易な施工設備で施工が可能である。
- 3) アンカーの施工機械であるロータリーパーカッションドリルを利用して施工が可能である。
- 4) 施工機械の入れ替えを必要としない連続作業となるので、施工手順が簡素化されている。

以上の理由により、大幅なコストダウンを実現しているので、従来の法面防護工法と比較して、半分以上の施工コストを実現している。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工のり面工・斜面安定工指針，平成 11 年 3 月
- 2) 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（JGS4101-2000）
- 3) ストップウォール協会：SW工法・TOP工法設計マニュアル，平成13年12月
- 4) ストップウォール協会：SW工法・TOP工法施工マニュアル，平成13年12月
- 5) PCフレーム協会：PCフレームアンカー工法
- 6) GRASP工法協会：GRASP工法 独立支圧板アンカー新工法の設計施工法
- 7) フリーフレーム協会：フリーフレーム工法 設計・施工の手引き 改訂版

4. 実用モデルによる実証実験

4.1 概説

本章では、第3章で提案したES工法の実用性について検証するために、実用モデルを作成し、施工方法の検討も含めて実施した載荷実験について述べる。

一般的に各種の設計手法は、N値を利用して行われている。N値の設計に対する期待は大きく、また多数の設計に利用されている。そのことは標準貫入試験の従前の研究からも明らかである。さらに、ボーリングは岩盤、砂礫を問わず、どのような地盤に対しても所定の位置まで掘進することができるので、地盤の中のデータを把握することが容易となる。また、物理的性質を明確にするために、地盤中の試料を採取して土質試験を行うことで、N値と地盤を直接対比して地盤情報を的確に読み取ることができる。地盤の工学的特性を判断し、他の試験値と相関関係を得ることができることから、ボーリングを実施してN値を採用することが、ES工法の設計が簡素化され簡易な設計手法を提案する基礎となる。

この実証実験は、実用モデルにより施工手順を検証しながら載荷試験を行うものであり、グラウト杭が支持力と周面摩擦力の効果を確認すると共に、実用モデルの挙動を観測することによって、荷重－変位量の関係、クリープの問題を研究し、グラウト杭の支持力判定と地盤改良効果の有無を検証することを目的としている。

実証実験は、グラウト杭を検証するために以下の点について実施する。

- 1) 地盤の極限支持力の確認実験を行なう。
- 2) 杭としての支持力を検証するための載荷実験を行なう。
- 3) グラウト杭の周面摩擦を検証するための載荷実験を行なう。

実用化を目指し設計手法を確立するために以下の点についても実施する。

- 1) 原位置において、ボーリングによりN値を確認する。
- 2) グラウト供試体から圧縮強度を確認する。
- 3) 許容支持力の1.5倍の載荷をした状態で、約3ヶ月間応力の状態を監視するクリープ試験をおこなう。

以上のことを検証する。

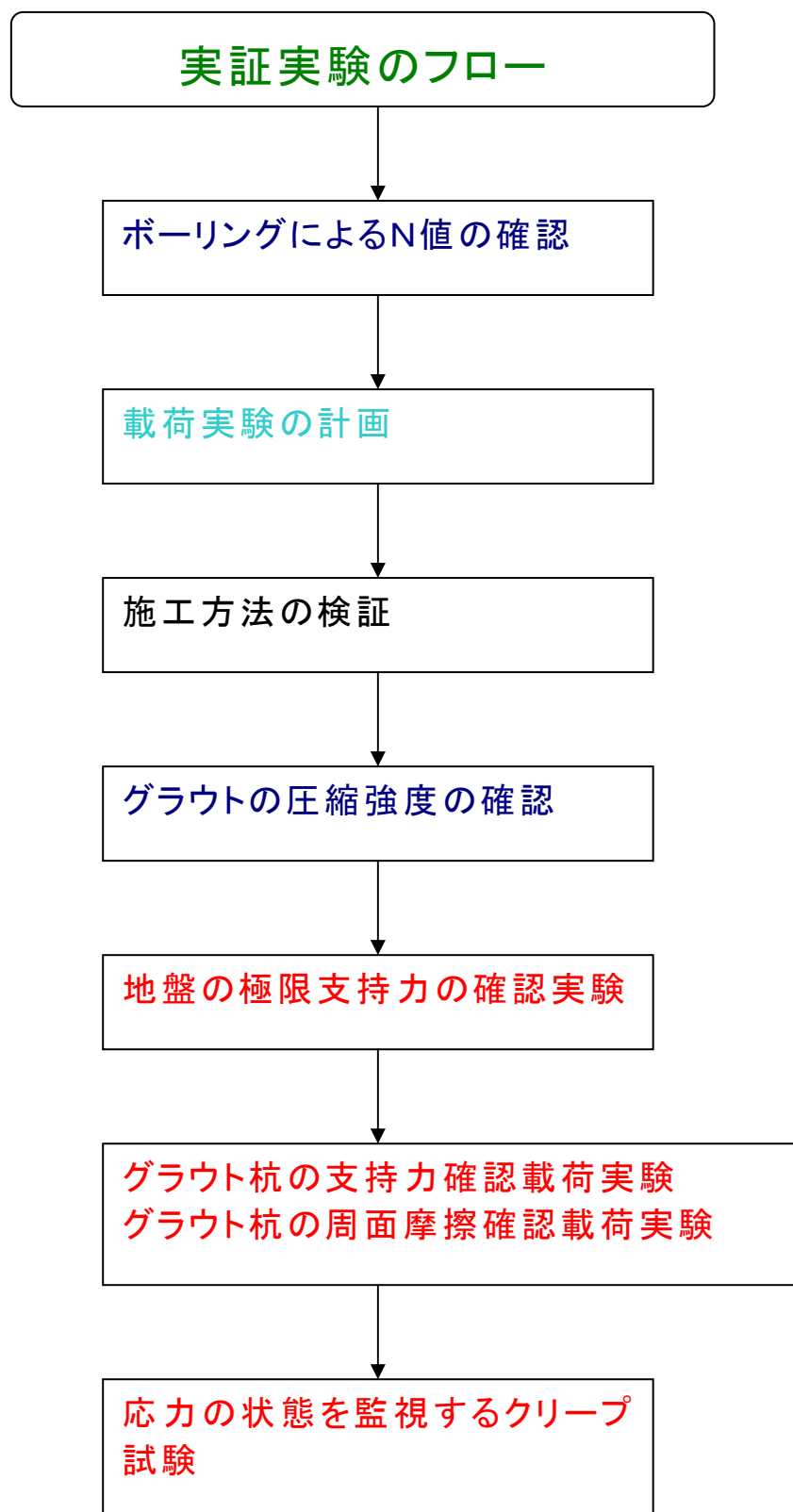


図 4. 1 実証実験のフロー

4. 2 原位置のN値

N値は多数の設計手法に利用されていることに着目し、ES工法の設計手順に取り入れ、設計手法を一般的で簡易にすることを目的として原位置における標準貫入試験を実施している。「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」におけるN値は、設計上の支持力の計算や土質の種類による周面摩擦係数の判定に使用されており、基礎的な地盤の状態の判定として利用することを目的としている。

表 4. 1 原位置のボーリング結果によるN値

	深 度			N値 平均
	0.5m	1.0m	1.5m	
No. 1	40	43	34	39
No. 2	27	37	63	42
No. 3	16	65	41	41
平均				41

ボーリング結果から、実証実験を実施する地盤のN値は、40程度と推定される。

4. 3 載荷実験の計画

載荷実験の計画については、以下のフローに沿って行っている。

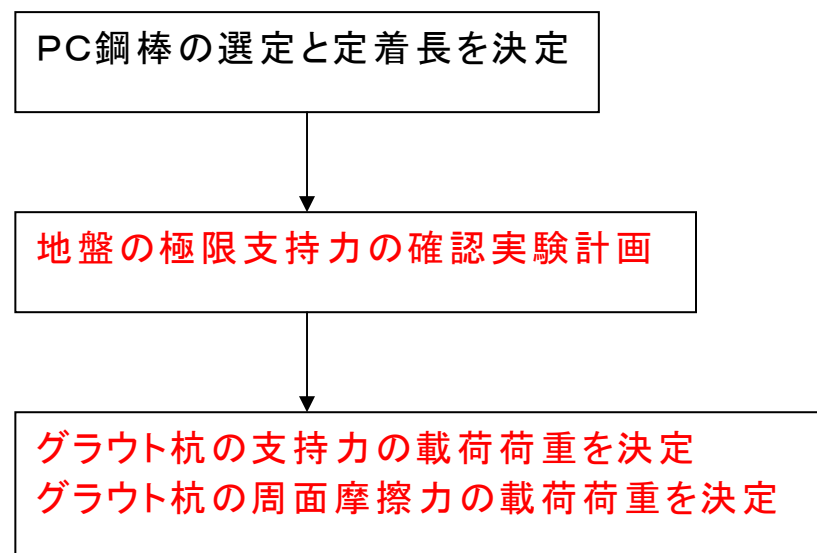


図 4. 2 載荷実験計画立案のフロー

4. 3. 1 PC鋼棒の選定と定着長

異形PC鋼棒の引張強度に見合う定着長が必要となる。

B種1号(SBPR 930/1080) 引張強度 $1080N/mm^2$

D32mmの公称断面積 $804.2mm^2$

D32mmの公称周長 $100.5mm$

異形PC鋼棒の許容付着応力度 $1.6N/mm^2$

ここで、PC鋼棒から決まる引張力を算出すると

$$Td = 1080 \times 804.2 / 1000 = 868.5kN$$

PC鋼材の必要定着長さの計算は、①PC鋼材とグラウトの付着応力から必要となる定着長と②グラウトと地盤との周面摩擦抵抗から必要となる定着長の長いほうを定着長とする。

$$\textcircled{1} \quad l_{sa} \geq \frac{Td}{U \times \tau_{ba}}$$

$$l_{sa} \geq \frac{868.5 \times 1000}{100.5 \times 1.6} = 5401mm = 5.401m$$

$$\textcircled{2} \quad l_a \geq \frac{Td \times fs}{\pi \times Da \times \tau}$$

$$l_a \geq \frac{868.5 \times 1000 \times 1.5}{3.14 \times 165 \times 0.4} = 6286mm = 6.286m$$

ここで、 Td : PC鋼棒の引張力 (kN)

U : PC鋼棒の周長 (m)

τ_{ba} : 許容付着応力度 (N/mm^2)

Da : グラウト杭径 (mm)

τ : 周面摩擦抵抗 (N/mm^2)

fs : 安全率 短期 1.5

以上から、①と②の長い方を採用するので 6.3mを定着長とし、頭部に1.0mの緊張のための余長及び底部に0.5mの定着安全長をとり、全長8.0mのPC鋼棒と決定している。

4. 3. 2 地盤の極限支持力の確認実験

ロータリーパーカッションドリルにより削孔した後に、 $\phi 100\text{mm}$ 、長さ 1.5m の応力伝達管により、杭の支持力を確認する実験を行う。極限支持力は、プレボーリングにより埋め込む手順となるので、道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編の中掘り杭の公式から極限支持力 R_u を算定している。周面摩擦に関しては、グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説からグラウトと地盤との周面摩擦抵抗から算出し、応力伝達管の極限支持力を算定する。ここでは、周面摩擦が働かない計画としている。

$$Ru1 = qd \times A$$

ここで、 $Ru1$: 杭の支持力

qd : 杭先端地盤の極限支持力度 (kN/m^2)

$$qd = 200 \times \alpha \times N$$

α : プレボーリングの場合 0 ~ 1.0 (計画時は $\alpha = 1.0$ とした)

A : 杭先端の面積 ($A = \frac{0.1016^2 \times \pi}{4} = 0.008107\text{m}^2$)

$$Ru2 = \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{fs}$$

ここで、 $Ru2$: グラウトと地盤との周面摩擦抵抗

la : グラウト杭長 (mm)

Da : グラウト杭径 (mm)

τ : 周面摩擦抵抗 (N/mm^2)

fs : 安全率 短期 1.5

したがって、極限支持力 R_u は、次式となる。

$$Ru = Ru1 + Ru2$$

$$Ru = qd \times A + \frac{la \times \pi \times da \times \tau}{fs}$$

杭の支持力の載荷実験では、周面摩擦の影響を最小限に抑えるために、応力伝達管にニスを塗り付着力を抑えることで、杭の支持力を測定する。したがって、上記の極限支持力 $R_u = Ru1 + Ru2$ は、 $Ru2 = 0$ として、載荷荷重の計画を行う。

$$Ru = qd \times A = 200 \times \alpha \times N \times A = 200 \times 1.0 \times 40 \times 0.008107 = 64.9\text{kN}$$

ES工法の応力伝達管は、3本を1組としているので、載荷試験荷重は以下のようになる。

$$\text{計算された極限荷重} = Ru \times 3 \text{ 本} = 195kN$$

載荷試験において降伏荷重を得るために荷重倍率として 2.5 倍の計画荷重とする。

$$\text{計画載荷荷重} = 195kN \times 2.5 \div 490kN$$

4. 3. 3 グラウト杭の支持力と周面摩擦の載荷荷重

グラウト杭の支持力と周面摩擦力の確認を行なうために、支持力の検証をφ300mmのグラウト杭径、周面摩擦力の検証をφ165mmのグラウト杭径による実験を行う。

$$Ru = 200 \times \alpha \times N \times A + \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{fs}$$

グラウト杭径がφ300mm

グラウト杭の支持力を確認するために、応力伝達管底部から30cmの長さとし、グラウト杭径を300mmにした。グラウト杭を短くし周面摩擦を抑えることで、グラウト杭の支持力の把握を行う。周面摩擦力の項は、無視して実験荷重を決定する。

α : 0.40 (地盤の極限支持力載荷実験結果より判定)

A : 杭先端の面積 ($A = \frac{0.300^2 \times \pi}{4} = 0.07065m^2$)

$$Ru = 200 \times 0.40 \times 40 \times 0.07065 = 226.1kN$$

$$\text{計算された極限荷重} = Ru \times 3 \text{ 本} = 678kN$$

載荷試験においては、PC鋼棒の引張強度までとする。

$$\text{計画載荷荷重} = 862kN$$

グラウト杭径がφ165mm

グラウト杭の周面摩擦力を確認するために、応力伝達管の長さを50cmとし、グラウト杭長を100cm、グラウト杭径を165mmとする。グラウト杭径を165mmとしたことで、

支持力を抑え周面摩擦力の把握を行い、支持力の項も考慮して実験荷重を決定する。

α : 0.40 (地盤の極限支持力の載荷実験結果より判定)

A : 杭先端の面積 ($A = \frac{0.165^2 \times \pi}{4} = 0.02137m^2$)

la : グラウト杭長 (m)

Da : グラウト杭径 (m)

τ : 周面摩擦抵抗 (kN/m^2)

fs : 安全率 短期 1.5

$$Ru = 200 \times 0.40 \times 40 \times 0.02137 + \frac{1.000 \times 3.14 \times 0.165 \times 400}{1.5} = 206.5kN$$

計算された極限荷重 = $Ru \times 3$ 本 = 620kN

載荷試験においては、PC鋼棒の引張強度までとする。

計画載荷荷重 = 862kN

4.3.4 計画載荷荷重の決定

地盤の極限支持力の確認、支持力効果の確認、周面摩擦効果の確認をするために、載荷実験の計画は、以下の通りに決定する。

表 4.2 計画載荷試験一覧表

載荷実験概要	応力伝達管 径の長さ m	グラウト杭径 径と長さ m	試験数 ケース	最大載荷荷重 kN
地盤の極限支持力の確認	D=0.1016 L=1.500	D=0 L=0	3	490
グラウト杭径は、D=0.300 で 支持力効果の確認	D=0.250 L=1.000	D=0.300 L=0.300	1	862
グラウト杭径は、D=0.165 で 周面摩擦効果の確認	D=0.1652 L=0.500	D=0.165 L=1.000	1	862

第4章では、合理的で実用的な設計手法に反映させることを目的として、この計画に沿って載荷試験を実施し、その結果を検証する。

4. 4 施工方法の検証

この実証実験では、将来の施工の指針を考慮した施工計画を基本として、実際の施工と同様の手順で行っている。

(1) 法面の切土

- ① 遣り方測量を行い、切土するための遣り方を設置している。
- ② バケット容量 $0.7m^3$ バックホウにて遣り方を基準に法面の掘削を行っている。
- ③ 切土作業には地山掘削作業主任者の指揮により慎重に行っている。
- ④ 作業員により遣り方の延長やロープによる確認を行い法面の凹凸が無いように仕上げを行っている。
- ⑤ ES工法施工箇所まで掘削をしている。

(2) 標準貫入試験によりN値を測定

- ① ES工法施工箇所にてボーリングを実施している。
- ② ボーリング箇所は3箇所としている。
- ③ ボーリング深さは、各 $1.5m$ でES工法のグラウトの施工範囲としている。
- ④ 標準貫入試験を $0.5m$ ごとに実施している。

(3) PC鋼棒アンカーの削孔。

- ① 施工機械 クローラ式ロータリーパーカッションドリル 1台

全長 $6,645mm$

全幅 $2,300mm$

全高 $2,450mm$

トラック長 $2,110mm$

トラック幅 $450mm$

接地圧 $4.6N/cm^2$

重量 $88.2kN$

削孔性能 適用パイプ径 $96mm \sim 216mm$

打撃エネルギー $637 \sim 441N \cdot m$

打撃数 $2,500 \sim 3,500bpm$

最大回転数 $Hi20 \sim 50min^{-1}$

$Lo40 \sim 100min^{-1}$

最大回転トルク $Hi8.2kN \cdot m$

$Lo4.1kN \cdot m$

- ② 作業人員 オペレーター1名、作業員2名

- ③ 削孔径 $\phi = 0.165m$ 、削孔深さ $L = 7.000m$ としている。

- ④ 削孔用ケーシングには、 $L = 7.000m$ の位置を明示し削孔深さの管理をしている。

- ⑤ 1箇所の削孔時間は、作業の準備も含めて $2.5h$ となっている。

- ⑥ PC鋼棒アンカーの設置箇所を測量してズレのないように削孔箇所にマーキングを行っている。
 - ⑦ マーキングされた位置でクローラ式ロータリーパーカッションドリルによって削孔を行っている。
- (4) PC鋼棒アンカー
- ① アンカーは、PC鋼棒としている。
 - ② PC鋼棒の種類は、異形PC鋼棒B種1号 D32を使用している。
 - ③ 搬入時の安全を考慮して4m×2本としている。
 - ④ PC鋼棒は、機械継ぎ手を使用し8m×1本としている。
 - ⑤ PC鋼棒にはスペーサーを取り付け削孔中央に位置するように設置している。
- (5) アンカー削孔箇所のグラウト
- ① 使用機械 グラウトミキサー 1台
攪拌容量 200l×2槽
グラウトポンプ 1台
横型2連動 0～100l/min
 - ② 作業人員 オペレーター1名、作業員2名
 - ③ グラウトミキサーの攪拌容量に合わせて水、セメントを計量している。
 - ④ 早強セメントを使用し、配合はW/C = 50%としている。
 - ⑤ 攪拌完了後、グラウトポンプにより削孔箇所に充填している。
 - ⑥ 充填する前に圧縮強度の確認のため供試体として6本採取している。
- (6) PC鋼棒の設置
- ① PC鋼棒は機械継ぎ手を使用して8m×1本としている。
 - ② PC鋼棒のスペーサーを設置している。
 - ③ グラウトが充填された削孔箇所にPC鋼棒を挿入している。
 - ④ クローラ式ロータリーパーカッションドリルの削孔用ケーシングをPC鋼棒が共上がりしないように注意してゆっくりと引き抜いている。
 - ⑤ 削孔用ケーシングを引き抜くと充填したグラウトが沈下するので補充注入を行っている。
 - ⑥ アンカーの削孔壁の崩壊を防ぐためグラウトの硬化が必要であり、次工程への移行は翌日としている。
- (7) グラウト杭の削孔
- ① 施工機械 クローラ式ロータリーパーカッションドリル 1台
 - ② 作業人員 オペレーター1名、作業員2名
 - ③ アンカーのグラウトが硬化していることを確認し、アンカーと応力伝達管の正確な位置を測量し、削孔位置を決定している。
 - ④ あらかじめアンカーと応力伝達管の正確な位置を確定するために、定規となる

設置用型枠を使用している。

⑤ 削孔用ケーシングにあらかじめ削孔深さの位置を明示して削孔長の管理をしている。

⑥ クローラ式ロータリーパーカッションドリルを使用して削孔を行っている。

(8) グラウト杭にグラウトを充填

① 使用機械 グラウトミキサー 1台

攪拌容量 200l×2槽

グラウトポンプ 1台

横型2連動 0～100l/min

② 作業人員 オペレーター1名, 作業員2名

③ グラウトミキサーの攪拌容量に合わせて水, セメントを計量している。

④ 早強セメントを使用し, 配合は $W/C = 50\%$ としている。

⑤ 攪拌完了後, グラウトポンプにより削孔箇所に充填している。

⑥ 充填する前に圧縮強度の確認のため供試体を6本採取している。

以上は, アンカー削孔箇所のグラウト作業と同じ手順となっている。

⑦ 削孔用ケーシングを引き抜くと充填したグラウトが沈下するので補充を行っている。

(9) 応力伝達管の設置

① グラウトが充填されたグラウト杭に応力伝達管を設置している。

② 応力伝達管をグラウト内に設置するときに, 浮き上がらないように底と上部側面にエア抜き穴を施している。

③ 応力伝達管の上部側面のエア抜き穴は鉄筋を通して固定することで, 正確な所定の設置高さを保つための目的も兼ねている。

④ アンカー位置を基準に, 応力伝達管を正確な位置に固定するため, 定規となる応力伝達管設置用型枠を使用して固定している。

(10) グラウト供試体の圧縮強度

① アンカーとグラウト杭の圧縮強度試験を行っている。

② 供試体を6本の内訳は, σ_3 3本, σ_7 3本としている。

③ 供試体の圧縮強度が 24 N/mm^2 以上であることを確認している。

(11) 上部プレートの設置

① 使用機械 クローラテレスコピッククレーン 1台

最大吊上荷重×作業半径 $2.93t \times 1.55m$

フック地上最大揚程 $10.9m$ ($10.0m$ ブーム)

全装備質量 約 $38.2kN$

平均接地圧 約 $35kPa$

② 作業人員 オペレーター1名, 作業員2名

- ③ 上部プレートをクローラテレスコピッククレーンにより吊り上げている。
- ④ アンカーと応力伝達管の位置を確認して、PC鋼棒を傷つけないように設置している。
- ⑤ 上部プレートと応力伝達管は、溶接により固定している。

(12) アンカーヘッドの設置と緊張

- ① アンカーヘッドを取り付けている。
- ② 緊張ジャッキにより荷重をかけている。
- ③ 緊張力を与えて、ナットを締め付けている。

(13) 載荷試験

載荷試験の手順は、4.5 載荷試験で詳述している。

(14) クリープ試験

- ① 載荷試験完了後、許容支持力の1.5倍の荷重をかけている。
- ② 上部プレート及び応力伝達管にかかる応力を3ヶ月計測している。

以上の手順により、施工を行うことで、施工方法の検証を実施している。

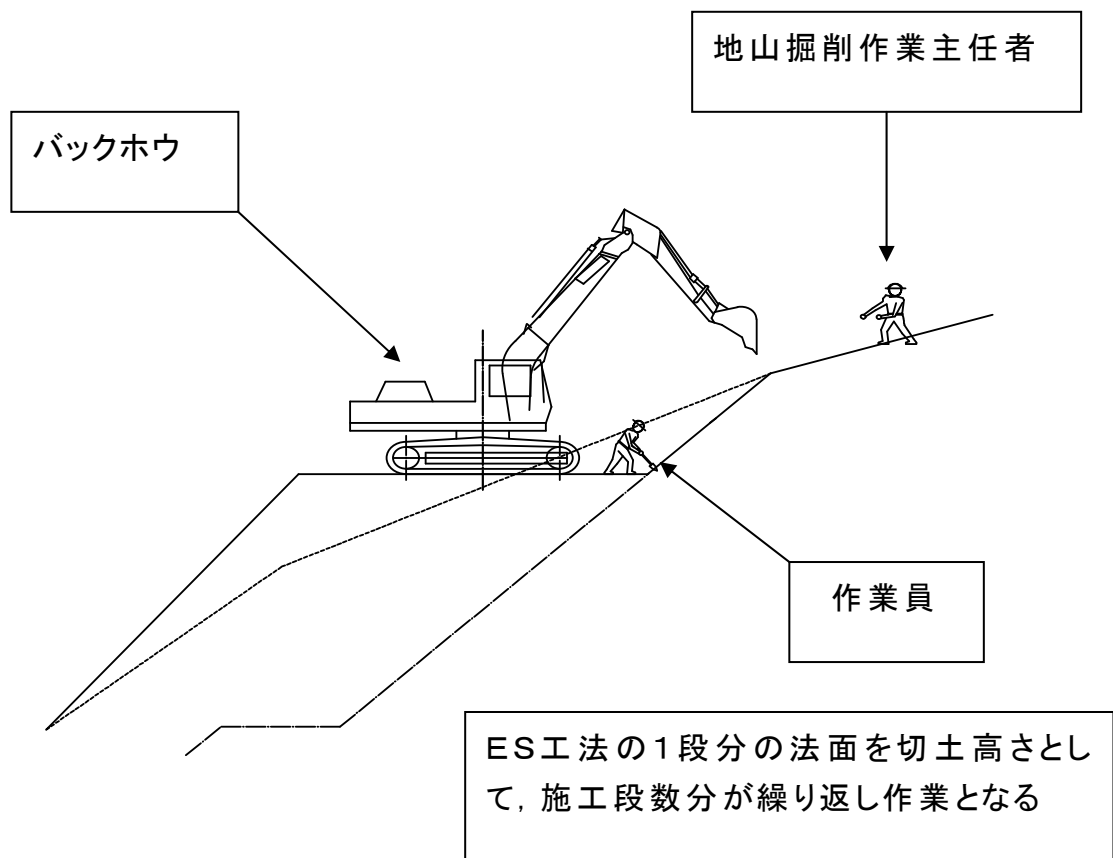


図 4.3 法面の切土状況及び切土完了法面



図 4. 4 アンカーとなるPC鋼棒



図 4. 5 削孔機械 クローラ式ロータリーパーカッションドリル



図 4. 6 直径165mmの削孔ビット



図 4. 7 直径300mmの削孔ビット



图 4.8 削孔状况(削孔开始前)



图 4.9 异形PC钢棒插入状况



図 4. 10 異形PC鋼棒機械継ぎ手



図 4. 11 グラウト杭削孔状況



図 4. 12 グラウトポンプによるグラウト充填状況



図 4. 13 応力伝達管及び施工ヤード



図 4.14 定規となる応力伝達管設置用型枠で固定した状況

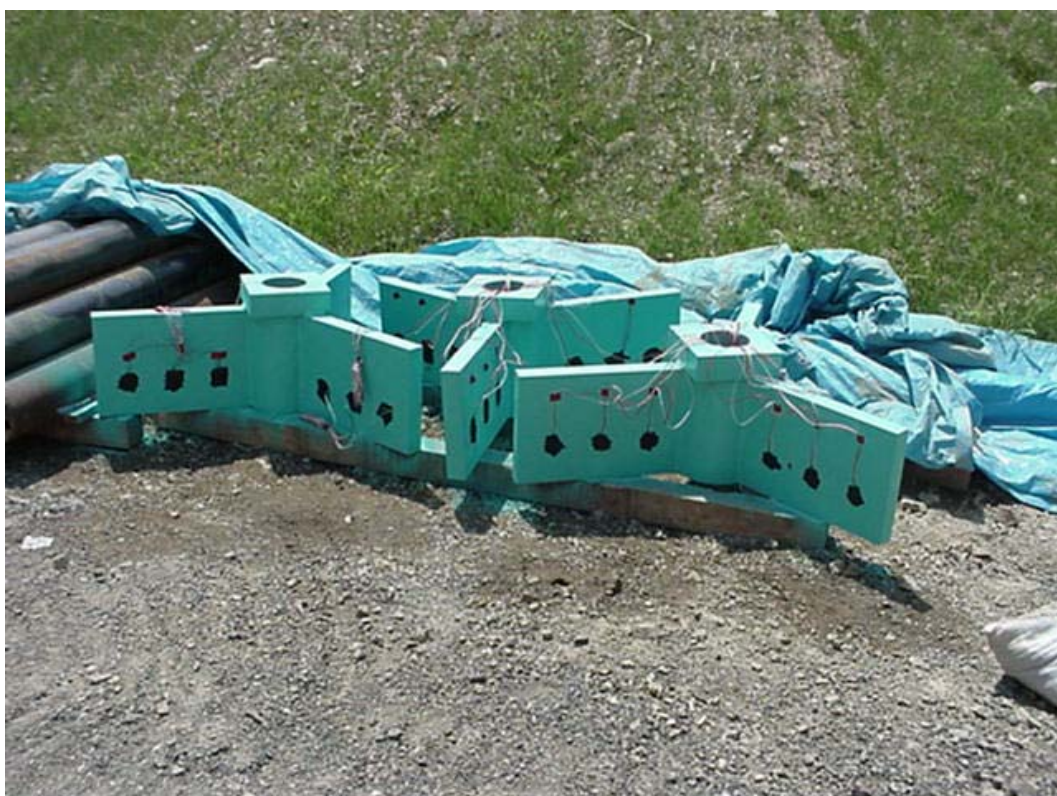


図 4.15 上部プレート



図 4. 16 上部プレートを設置した状況



図 4. 17 緊張が完了した状況

4.5 グラウト圧縮強度

ES工法は仮設ではなく永久の構造物として考えているので、グラウトの設計基準強度は、地盤工学会「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」から、緊張・定着時に必要な圧縮強度をもとに、 24N/mm^2 以上としている。使用するセメントは、早強セメントとし、配合は、水セメント比50%としている。本研究では、セメントと水で配合したセメントミルクを使用している。

アンカーの施工，極限支持力実験のグラウト杭施工，グラウト杭支持杭・周面摩擦実験の施工において，グラウトを配合して注入する施工段階ごとに供試体を6本採取している。養生日数3日後に3本の供試体の圧縮強度 σ_3 を確認し，養生日数7日後に残りの3本の供試体の圧縮強度 σ_7 を確認している。

圧縮強度 σ_7 は，全て 24N/mm^2 以上の結果を確認してから，次工程に進むことにしている。

表 4.3 グラウト圧縮強度結果

施工内容		圧縮強度 N/mm^2			
		No,1	No,2	No,3	平均
アンカー施工	σ_3	18.2	18.3	18.8	18.4
	σ_7	24.1	28.9	26.6	26.5
極限支持力実験 グラウト杭施工	σ_3	22.4	21.2	23	22.2
	σ_7	21.9	26.3	25.2	24.5
グラウト杭支持 力・周面摩擦実 験施工	σ_3	19.4	16.8	18.6	18.3
	σ_7	24.4	25.2	24.4	24.7

実際の施工において，トラックミキサーの走行が可能である箇所においては，セメントミルクに変えてモルタルを使用することが可能である。これにより，グラウト注入の施工性を向上させ，地盤改良ブロックの強度をさらに高めることが可能となる。今後の研究課題としては，グラウト杭の強度の違いによる地盤のせん断強度を把握して，評価をする手法を開発することである。

このことによりグラウト杭による補強された土塊ブロックのせん断強度を斜面の安定解析にフィードバックすることができるので，より以上に経済的な計画や設計を実施することが可能と考えられる。

4. 6 載荷実験の検証

4. 6. 1 載荷実験の手順

載荷試験は、次の手順で行っている。

- (1) 掘削径は $\phi 165\text{mm}$ で7mの定着を取り、予長を1mとして、8mの異形PC鋼棒を使用するので、設計アンカー力は、約900kNまで可能となっている。
- (2) 応力伝達管は、3本の鋼管とし、1.5mの杭と削孔長を同じにしている。また、応力伝達管の周面摩擦を低減させるためにニスを塗布しグラウトとの付着力を軽減する対策を行っている。
- (3) ジャッキをPC鋼棒にかませて、上部プレートの上 部伝達板にジャッキをナットにて固定し、所定の荷重になるように、ロードセルの値を参考に載荷している。
- (4) 上部プレートや応力伝達管には、あらかじめひずみゲージを取り付け、さらに上部プレート本体に変位計を取り付けている。
応力伝達管部分に取り付けるひずみ計は、1 本当たり上下の2ヶ所とし、3本で合計6ヶ所に設置している。
上部プレート部分には、ひずみ計を1翼当たり内側・中央・外側の3ヶ所とし、3翼で合計9ヶ所に設置している。変位計は1翼当たり2ヶ所、3翼で合計6ヶ所に設置している。
- (6) ひずみゲージ、変位計、ロードセルの各データは、データロガーを介して測定値を記録している。
- (7) 載荷試験は次の手順で行っている。
 - a) 載荷方式は、5サイクル方式とし、載荷は第1段階の荷重を超えない範囲で載荷を行った後に下記によって行っている。
 - ① 荷重は、計画最大荷重を10段階に等分割して載荷している。
 - ② 荷重の増減は、速やかに一定速度で行っている。
 - ③ 荷重保持時間は 30 分程度の時間としている。ただし、除荷および再載荷の荷重段階においては、5 分程度の時間としている。
 - b) 測定の方法は、各荷重段階で一定時間荷重を保持し、その後、一定の基準によって荷重を増加または減少させて次の荷重段階に移行させている。この間のそれぞれの荷重段階で保持時間の経過に応じてアンカープレートの変位量を測定している。
 - c) 試験の終了は、計画最大荷重のサイクルが終了するか、または途中の荷重段階であっても地盤が破壊して所定荷重を維持することが難しい場合には終了することとしている。

載荷実験の概要は、図4.18の載荷実験概要全体図に示すように、異形PC鋼棒を定着させて、異形PC鋼棒に対して緊張ジャッキにより引張力をかけることで、上部プレートに緊張力の反力として荷重が伝わり、さらに応力伝達管からグラウト杭へ荷重が載荷される構造となっている。

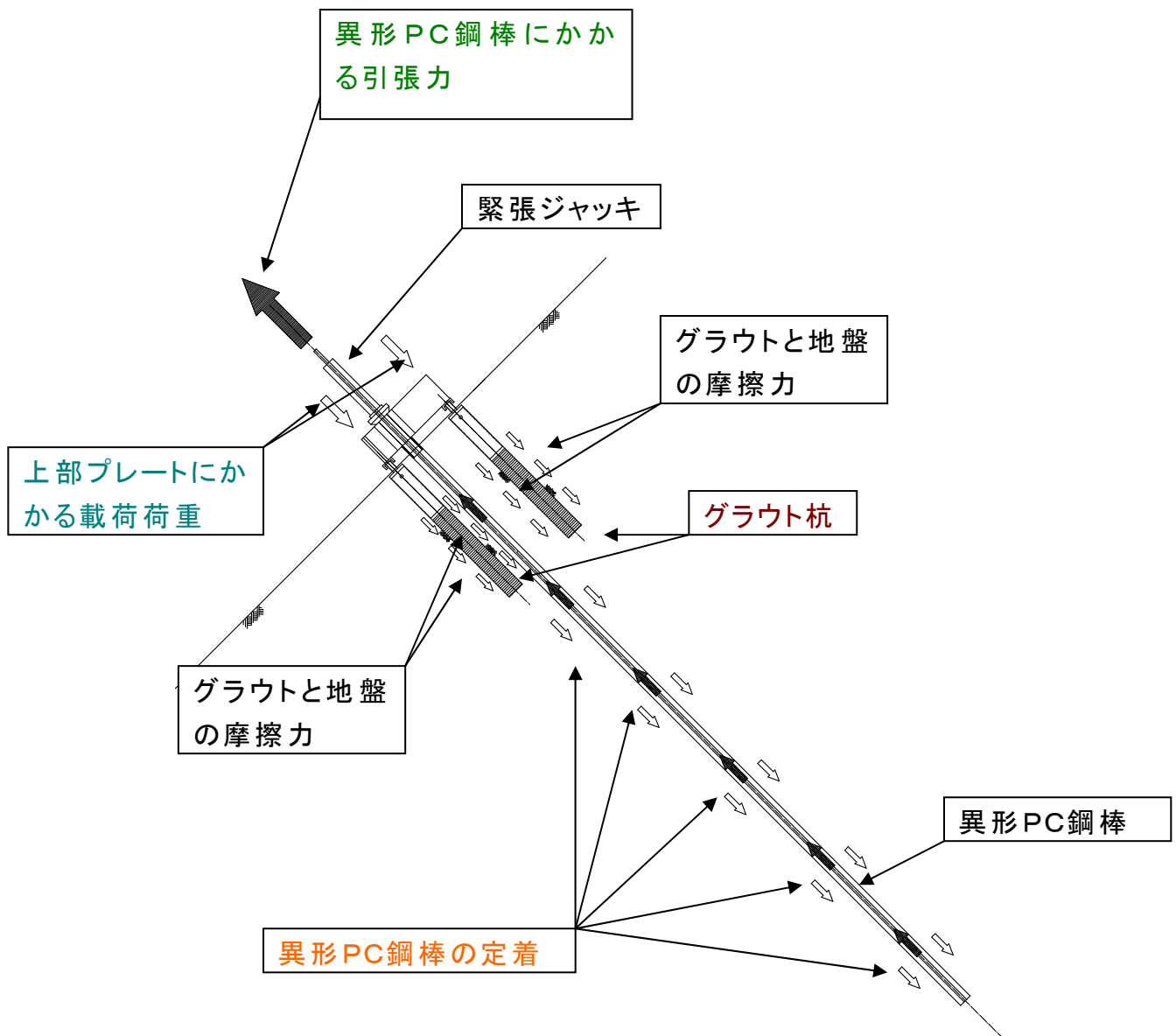


図 4.18 載荷実験概要全体図

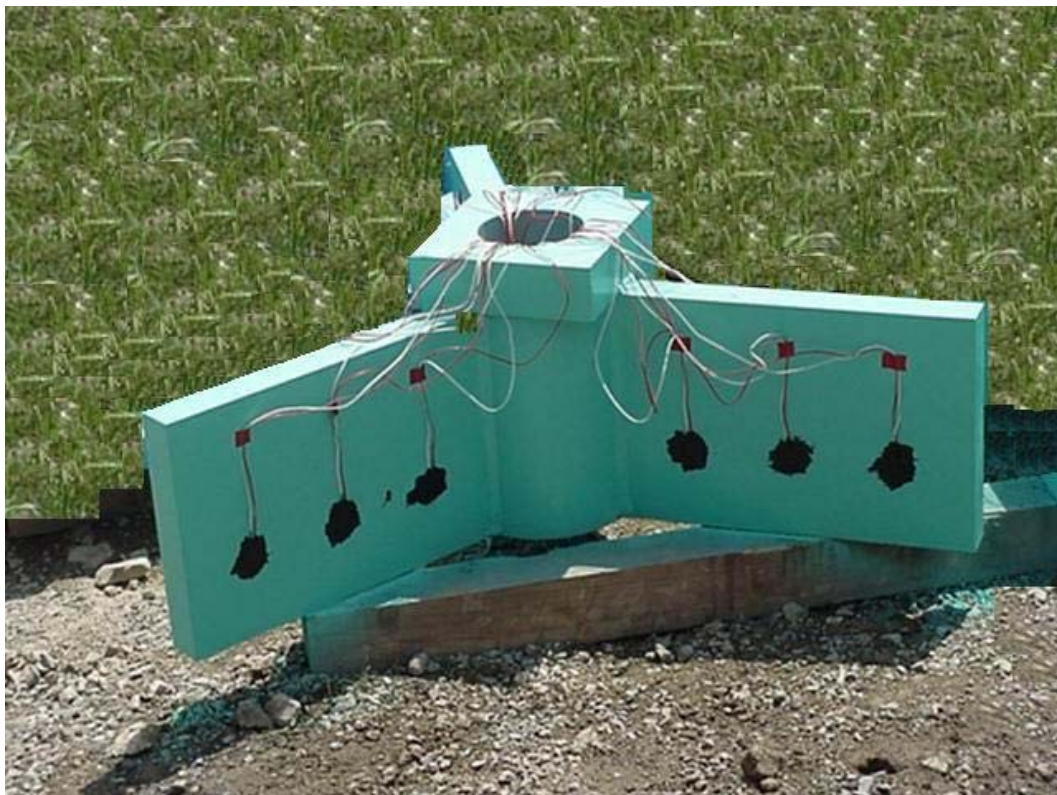


図 4. 20 上部プレートひずみ計設置状況

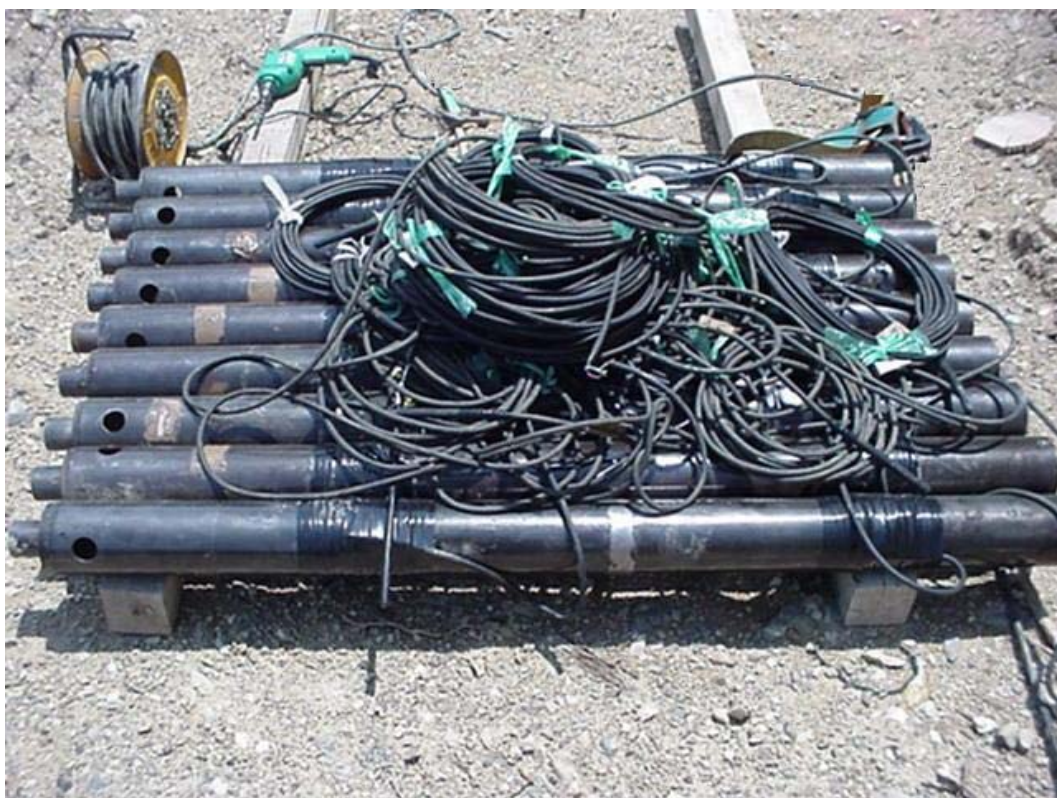


図 4. 21 極限支持力確認実験用応力伝達管，ひずみ計設置状況

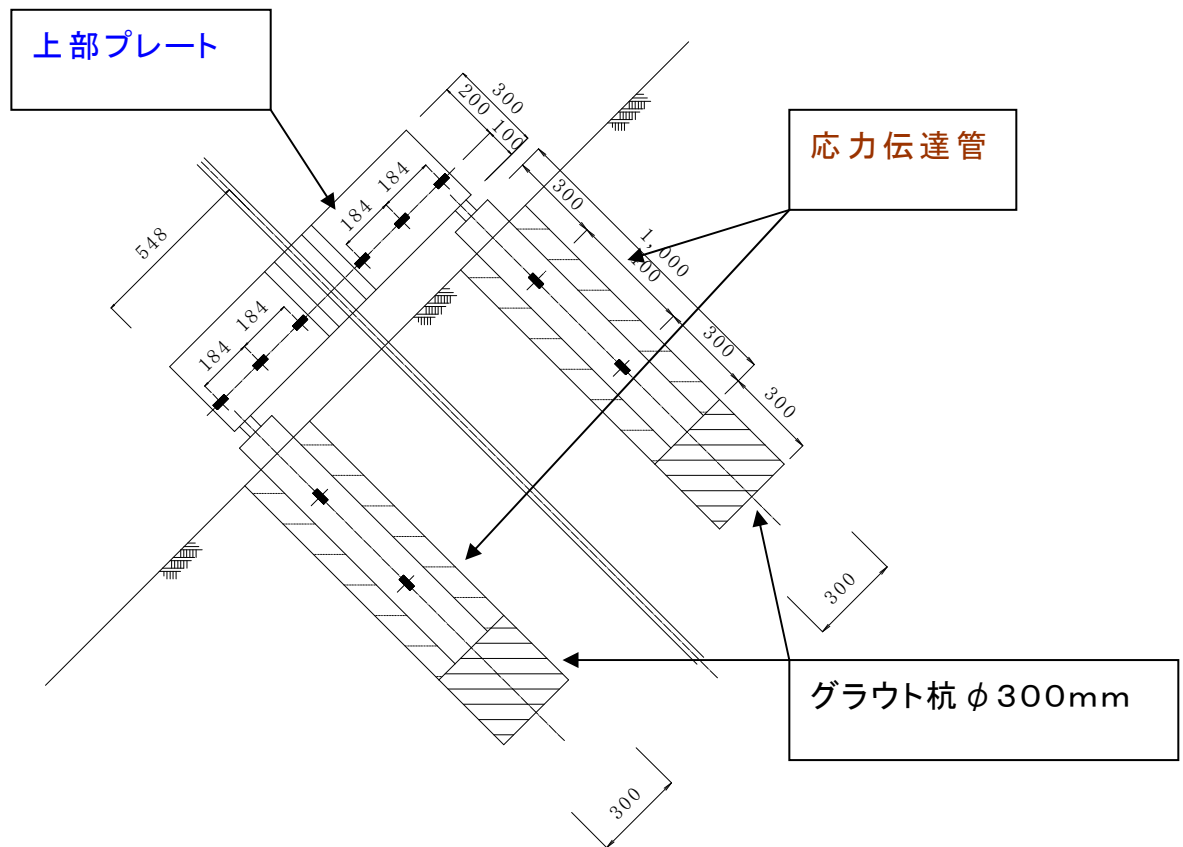


図 4. 22 グラウト杭 φ300実験図および応力伝達管

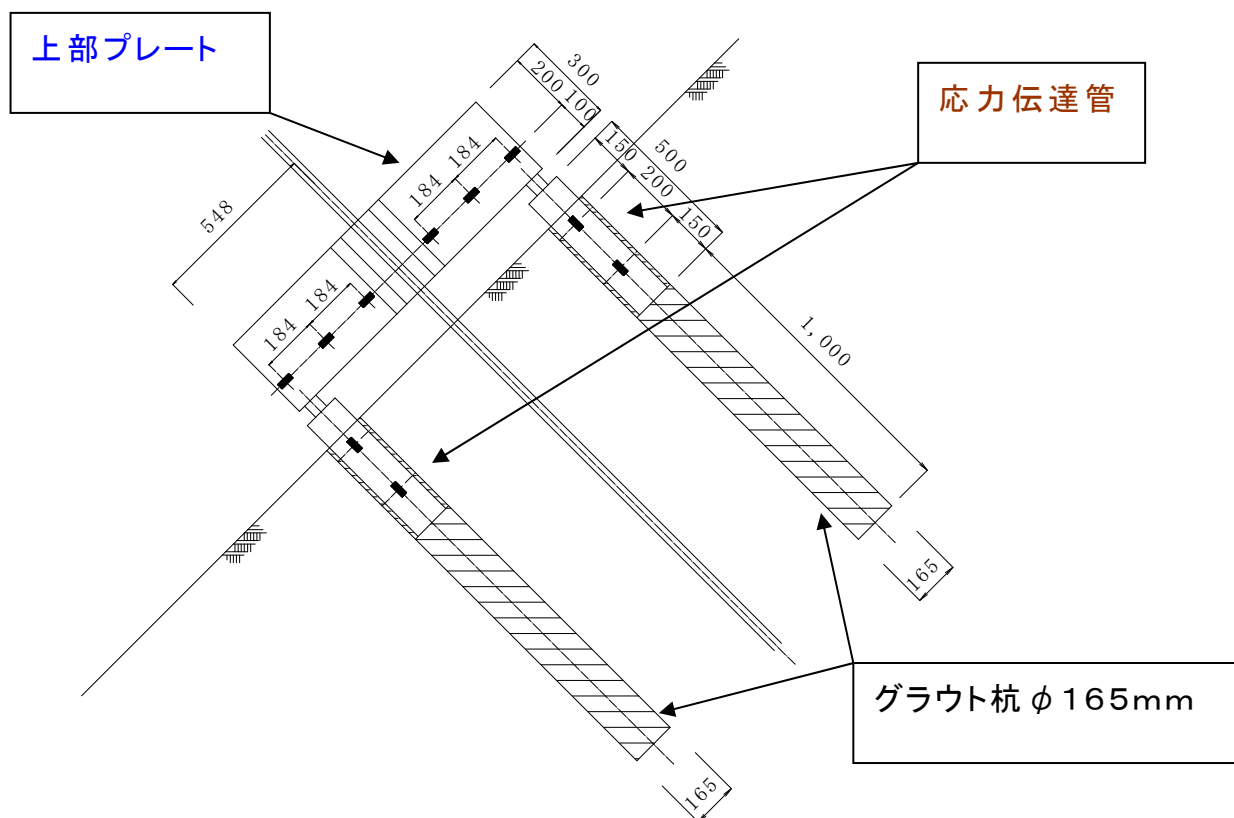


図 4. 23 グラウト杭 φ165実験図および応力伝達管



図 4. 24 載荷試験状況



図 4. 25 載荷試験データ測定状況

4. 6. 2 地盤の極限支持力の載荷実験結果

上部プレートにかかる荷重は、上部プレートの3枚の翼にかかるせん断力の結果から、応力伝達管に伝わっている。応力伝達管は、クローラー式ロータリーパーカッションドリルにより削孔し、グラウトを充填した後に設置している。応力伝達管とグラウトの付着力を抑える対策を実施しているが、上部と下部にかかる荷重の差から付着力が働いていると判断できる。そこで、上下部の荷重差から応力伝達管とグラウトに発生した付着力を減じて、杭の支持力を算定することとし、算定した結果から、支持力公式の定数 α を決定する。

応力伝達管の上下の荷重差から、付着応力 τ_{ba} を算出すると表4. 4の地盤の極限支持力載荷実験結果及び付着応力の結果表に示している。

表 4. 4 地盤の極限支持力載荷実験結果及び付着応力

ケース番号		case1		case2		case3			
極限荷重	試験荷重(kN)	98.00		132.30		147.00			
	ロードセル荷重(kN)	106.13		124.46		147.39			
上部プレート翼1	せん断力(kN)	37.42	合計	43.66	合計	46.43	合計		
上部プレート翼2		34.30		41.92		45.04			
上部プレート翼3		38.46		110.18		38.46		124.04	43.31
応力伝達管1	上部 軸力(kN)	20.65	上下の差	25.56	上下の差	34.63	上下の差		
	下部 軸力(kN)	12.85		7.80		12.09		13.47	21.53
応力伝達管2	上部 軸力(kN)	21.66	上下の差	24.93	上下の差	23.30	上下の差		
	下部 軸力(kN)	9.07		12.59		17.38		7.55	24.56
応力伝達管3	上部 軸力(kN)	17.63	上下の差	24.18	上下の差	31.10	上下の差		
	下部 軸力(kN)	5.54		12.09		16.50		7.68	24.30
応力伝達管とグラウトの付着力		平均値(kN)		10.83		9.57		6.21	
応力伝達管とグラウトの付着力		(N/mm2)		0.04848		0.04284		0.02782	
応力 τ_{ba}		平均値 (N/mm2)		0.040					

測定された極限支持力は、応力伝達管とグラウト付着応力 τ_{ba} が含まれて測定されている。したがって、極限支持力 Ru から応力伝達管とグラウトの周面摩擦力 $Ru2$ を減じることで、地盤の極限支持力 $Ru1$ を算出する。

測定された極限支持力

$$Ru = Ru1 + Ru2$$

地盤の極限支持力

$$Ru1 = 200 \times \alpha \times N \times A$$

応力伝達管とグラウトの周面摩擦力 $Ru2 = lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba}$
したがって、測定されている極限支持力は、以下の通りとなる。

$$Ru = 200 \times \alpha \times N \times A + lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba}$$

ここで、表 4. 5 の支持力公式の定数 α をまとめている。

$$\alpha = \frac{Ru1}{200 \times N \times A}$$

表 4. 5 支持力公式 定数 α

	ケース番号		case1	case2	case3
実験結果	極限荷重	ロードセル荷重(kN)/3	35.38	41.49	49.13
	応力伝達管とグラウトの付着力	(kN/m ²)	48.48	42.84	27.82
地盤の支持力	$Ru1 = 200 \times \alpha \times N \times A$ (kN)		15.27	23.72	37.59
応力伝達管とグラウトの周面摩擦	$Ru2 = lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba}$ (kN)		20.11	17.77	11.54
地盤支持力定数	$\alpha = \frac{Ru1}{200 \times N \times A}$		0.24	0.37	0.58
	α		0.4		

以上から、地盤の極限支持力から得られた結果から、ES工法の極限支持力は、

$$Ru1 = 200 \times \alpha \times N \times A$$

$$\alpha = 0.4$$

となる。

図 4. 27～図 4. 29 は、ケース 1 からケース 3 の極限支持力確認実験の $S - \log t$ 曲線、 $\log S - \log P$ 曲線である。

ここで、
 S : 沈下量 (mm)
 t : 載荷時間 (分)
 P : 載荷荷重 (kN)

となっている。

4. 6. 3 グラウト杭の支持力と周面摩擦力の載荷実験結果

地盤の極限支持力の載荷実験から、グラウト杭の極限支持力 Ru は、グラウト杭先端の支持力 $Ru1$ 、応力伝達管とグラウトの周面摩擦力 $Ru2$ 、グラウトと地盤の周面摩擦力 $Ru3$ の合計となる。

$$\text{測定された極限支持力} \quad Ru = Ru1 + Ru2 + Ru3$$

$$\text{グラウト杭先端の極限支持力} \quad Ru1 = 200 \times \alpha \times N \times A$$

$$\text{応力伝達管とグラウトの周面摩擦力} \quad Ru2 = lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba}$$

$$\text{グラウトと地盤の周面摩擦力} \quad Ru3 = \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{fs}$$

したがって、測定されている極限支持力は、

$$Ru = 200 \times \alpha \times N \times A + lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba} + \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{fs}$$

となる。ここで、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」にある土質の種類による周面摩擦係数の検証を行う。

$$\text{周面摩擦係数} \quad \tau = \frac{Ru3 \times fs}{la \times \pi \times Da}$$

グラウト杭の支持力を確認するために、応力伝達管 ($L = 1.000m$) の底部からグラウト杭を拡底し、 $\phi = 300mm, L = 0.300m$ のグラウト杭を造成している。支持力が周面摩擦力より大きくなるようにし、応力伝達管には地盤の載荷試験同様にニスを塗布し同じ条件としている。また、グラウト杭の周面摩擦力を確認するために、応力伝達管 ($L = 0.500m$) とし、 $\phi = 165mm, L = 1.000m$ のグラウト杭を造成している。グラウト杭径を $\phi = 165mm$ とすることで、支持力を抑え周面摩擦力の効果を確認している。同様にして、応力伝達管には、ニスを塗布し同じ条件としている。

$$\text{計画時に使用した周面摩擦抵抗} \quad \tau = 400kN/m^2$$

$$\text{結果から算定した周面摩擦抵抗} \quad \tau = 397kN/m^2$$

「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」から計画時に採用している周面摩擦抵抗値と表4. 6から算定した周面摩擦抵抗値に近いことが検証されている。

以上の検証結果をES工法の設計手法に反映させることとする。

図4.30～図4.31は、ケースφ300、ケースφ165の極限支持力確認実験のS-log t曲線、log S-log P曲線である。ここで、Sは沈下量(mm)、tは時間(分)、Pは載荷荷重(kN)となっている。

表 4.6 グラウト杭の支持力と周面摩擦力の載荷実験結果と周面摩擦抵抗

	ケース番号		φ 300		φ 165	
実験結果	極限荷重	試験荷重(kN)	862.00		862.00	
		ロードセル荷重(kN)	829.08		830.66	
	上部プレート翼1	せん断力 (kN)		平均値	240.32	合計
	上部プレート翼2		315.99		332.97	
	上部プレート翼3		248.77	847.15	239.07	
	応力伝達管1	上部 軸力(kN)	142.36	上下の差		上下の差
		下部 軸力(kN)	151.89	-9.53		
	応力伝達管2	上部 軸力(kN)	278.17	上下の差	220.39	上下の差
		下部 軸力(kN)	182.66	95.51	203.11	
	応力伝達管3	上部 軸力(kN)	261.49	上下の差	255.93	上下の差
		下部 軸力(kN)	117.94	143.55	271.22	
	極限荷重	ロードセル荷重(kN)/3	276.36		276.89	
	地盤の支持力	$Ru1 = 200 \times \alpha \times N \times A$ (kN)		226.18		68.42
応力伝達管とグラウトの周面摩擦力	$Ru2 = lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba}$ (kN)		11.40		5.07	
グラウトと地盤の周面摩擦力	$Ru3 = \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{fs}$ (kN)		38.78		203.40	
周面摩擦抵抗	$\tau = \frac{Ru3 \times fs}{la \times \pi \times Da}$ (kN/m2)		205.84		588.89	
	τ 平均値 (kN/m2)		397			

4.6.4 グラウト杭のクリープ実験

表4.7のクリープ実験結果は、載荷試験実験後、実験で得られた極限支持力の $\frac{1}{2}$ の荷重(許容支持力の1.5倍)を約3ヶ月間計測している結果である。グラウト杭の支持力を確認した実験は、グラウト杭φ=300mmの杭長はL=0.300mである。また、グラウ

ト杭の周面摩擦力を確認した実験は、グラウト杭 $\phi=165\text{mm}$ の杭長は $L=1.000\text{m}$ である。グラウト杭は、杭長の長いほうがクリープする割合が少ない結果を得ている。グラウトと地盤が接する面積を多くすることが、グラウト杭全体の支持力を増すことになるので、グラウト杭の最低の長さについては、 $L=1.000\text{m}$ 以上が必要であると考えられる。

表 4.7 クリープ実験結果

累計日数	$\phi 300$ グラウト杭 (kN)			$\phi 165$ グラウト杭 (kN)		
	翼1	翼2	翼3	翼1	翼2	翼3
1		494	374	465	409	480
83		465	345	457	408	467
荷重低下率		6.0%	7.6%	1.8%	0.2%	2.7%
平均値	6.8%			1.6%		

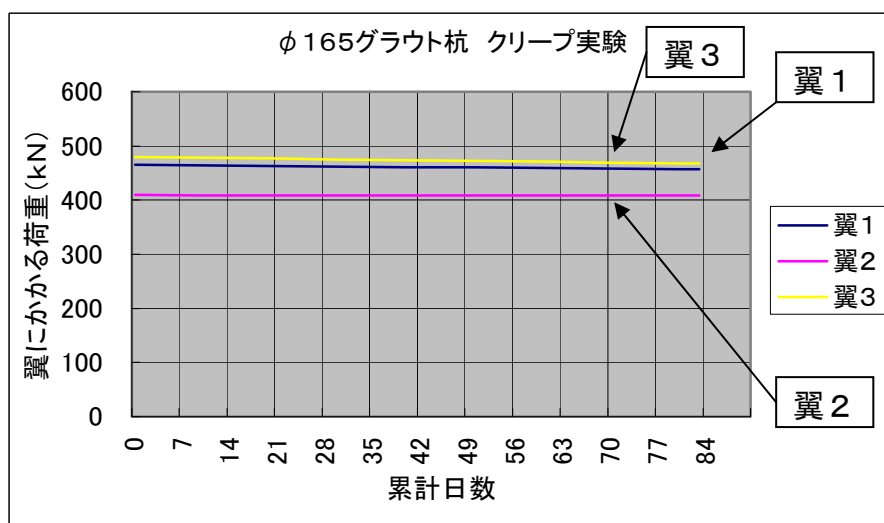
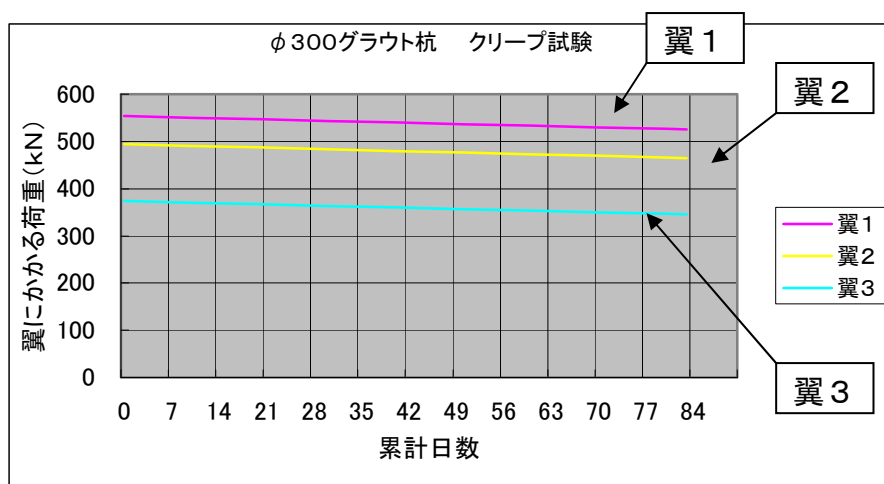


図 4.26 クリープ試験データグラフ

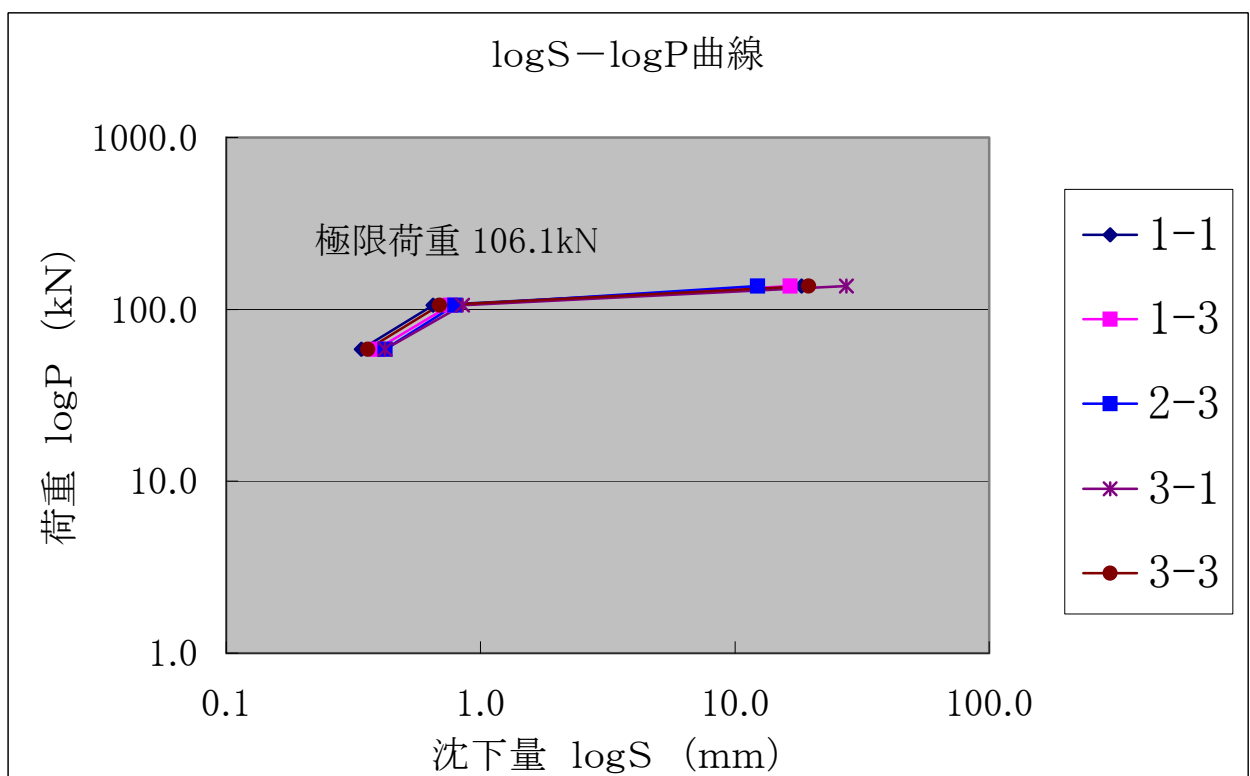
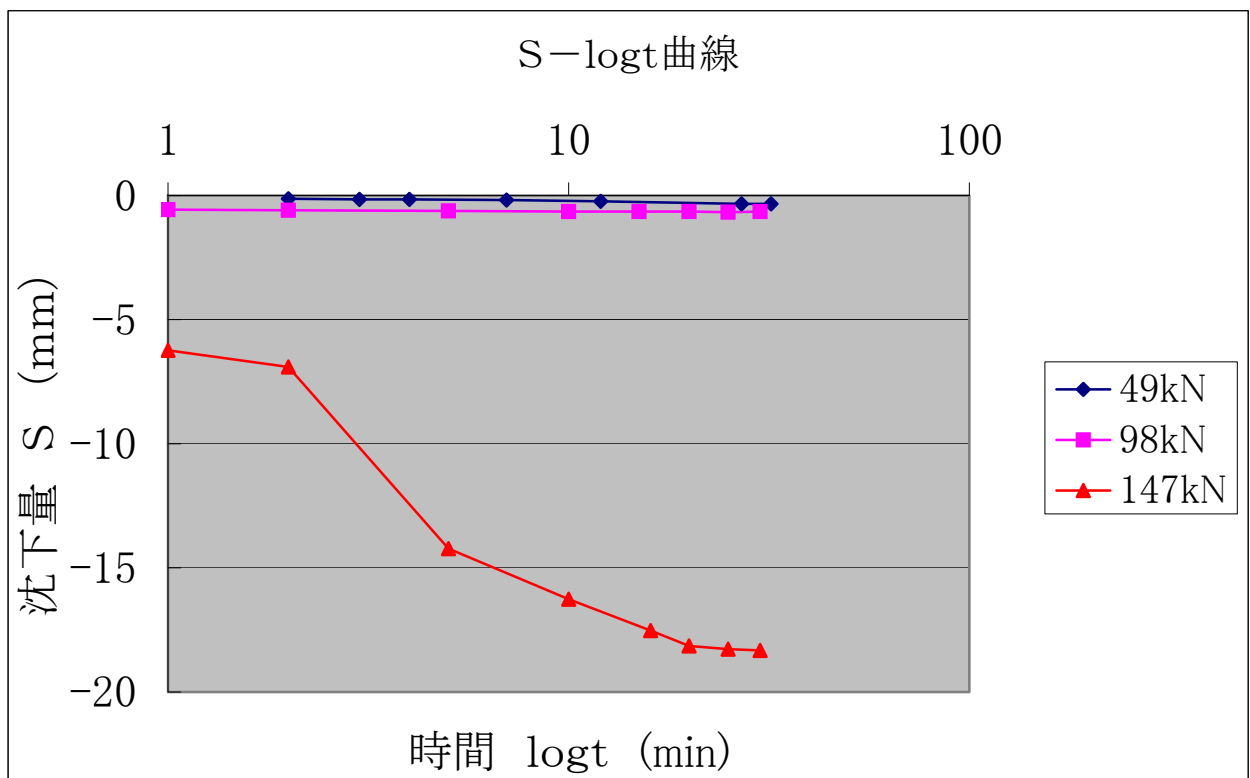


図 4. 27 地盤の極限支持力 case1

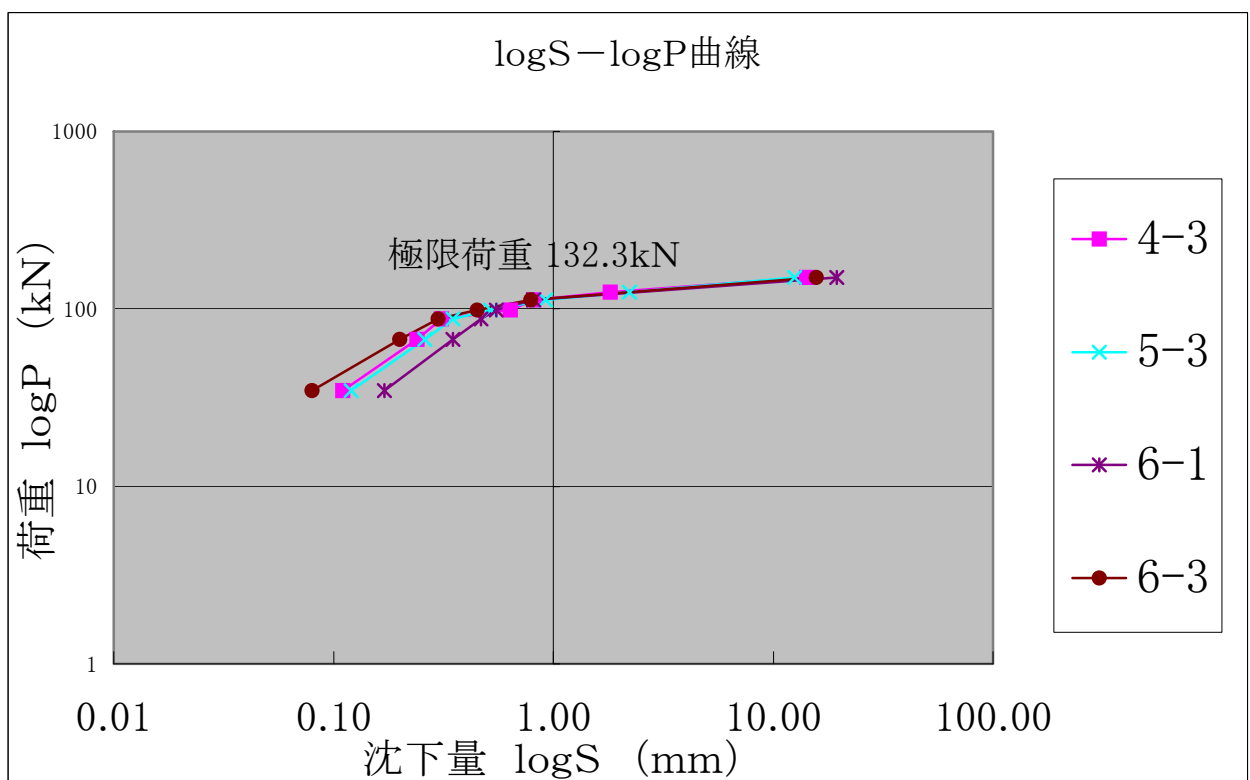
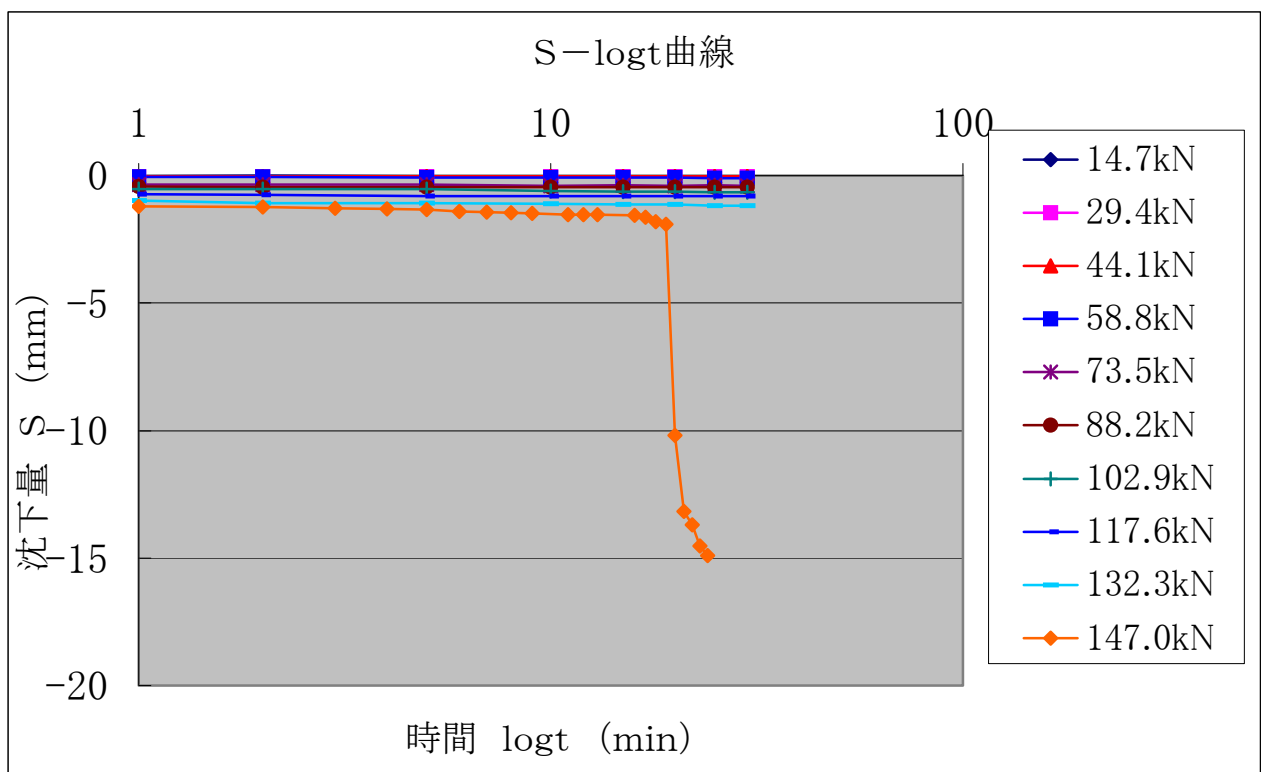


図 4. 28 地盤の極限支持力 case2

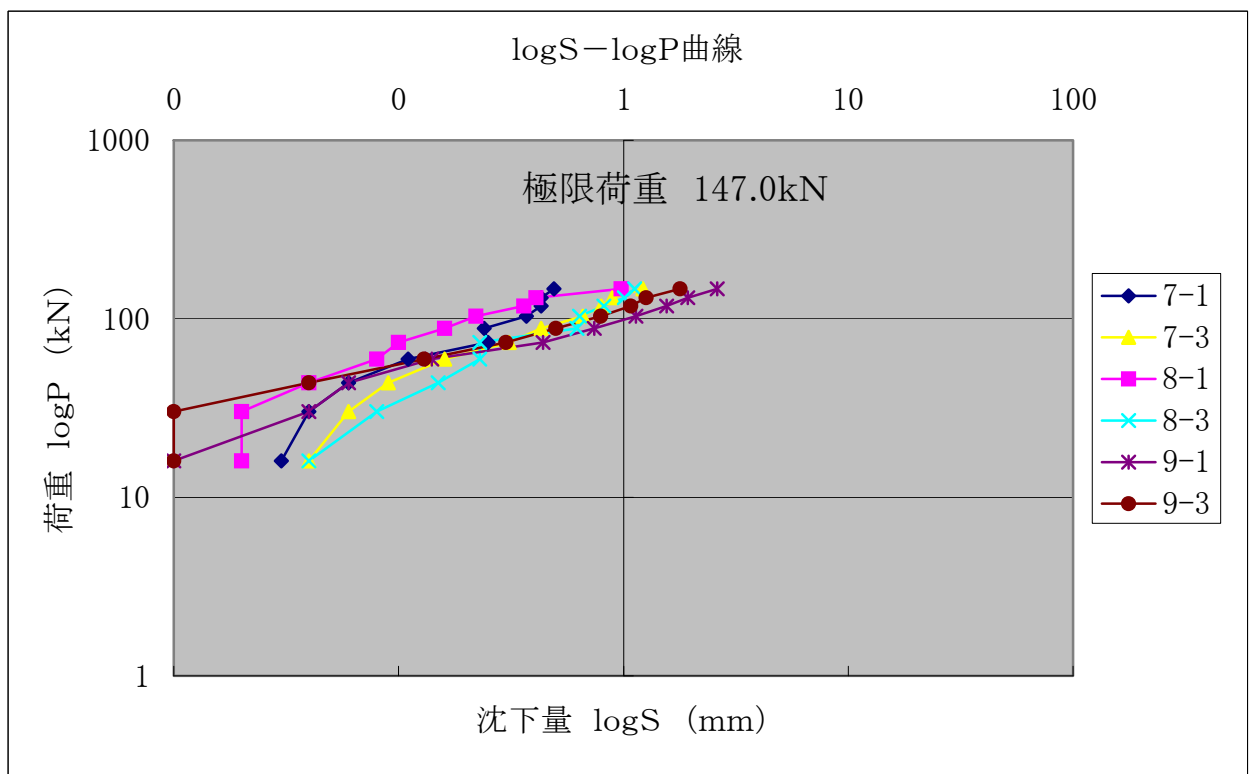
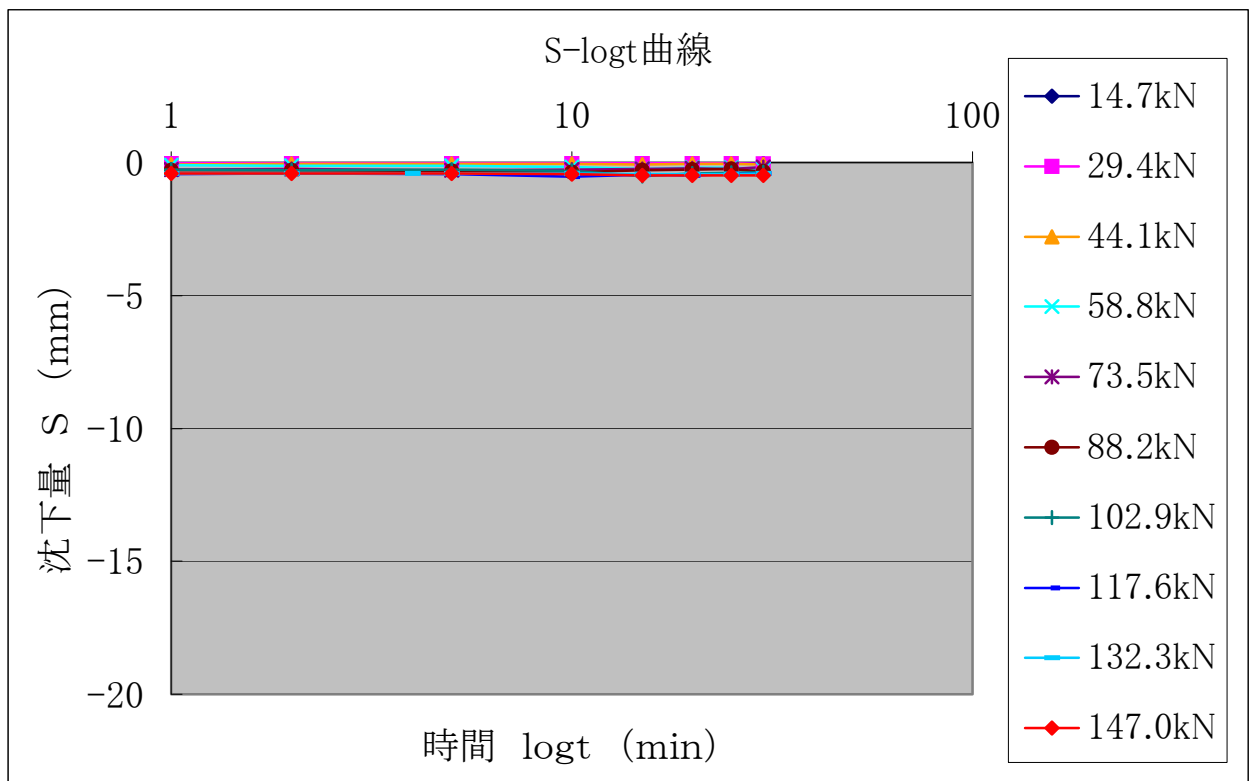


図 4. 29 地盤の極限支持力 case3

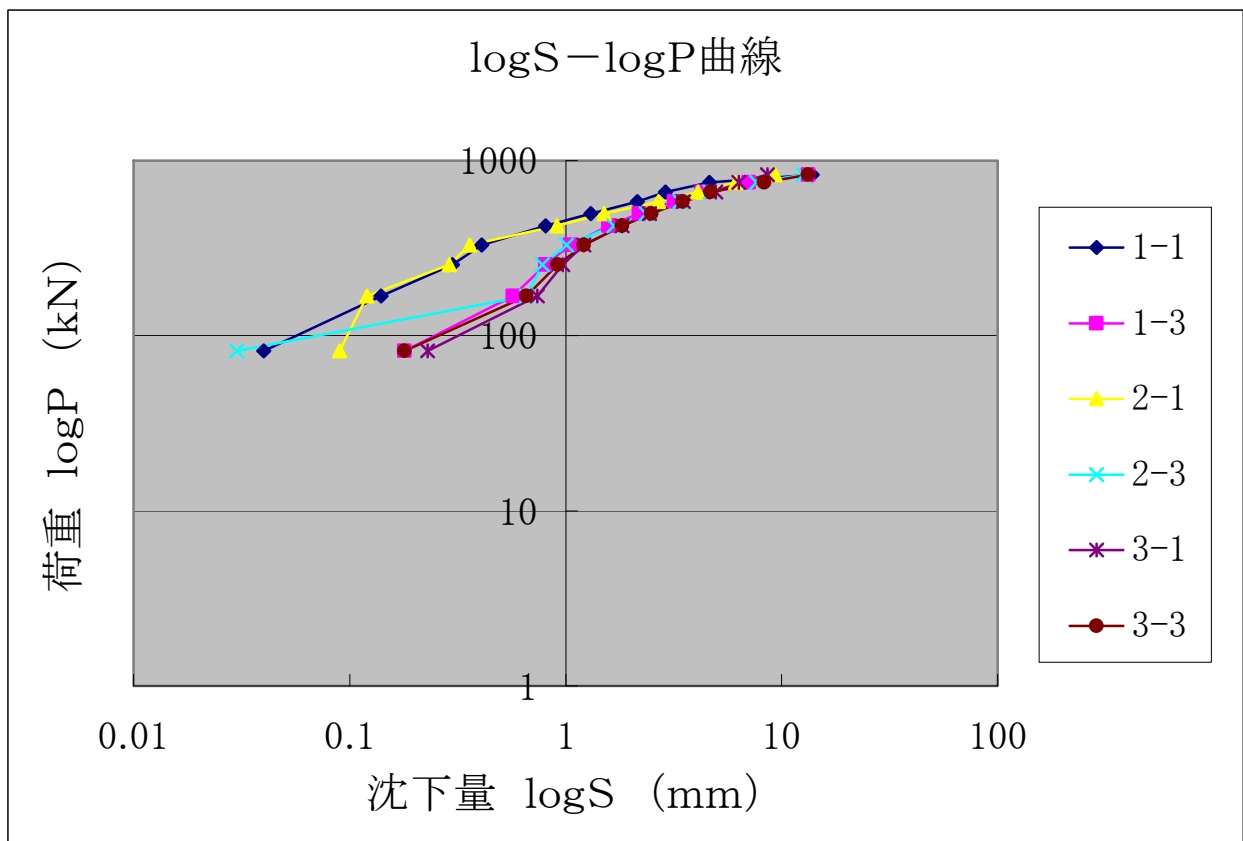
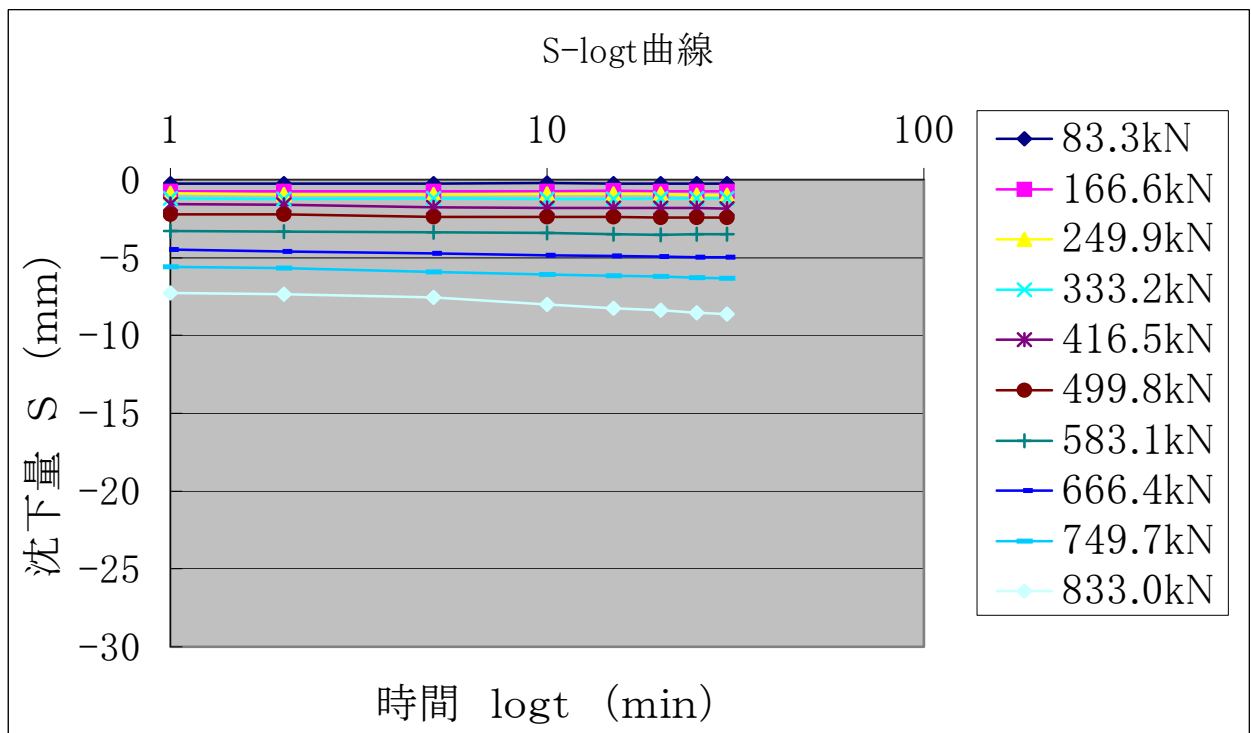


図 4. 30 $\phi 300$ グラウト杭載荷試験結果

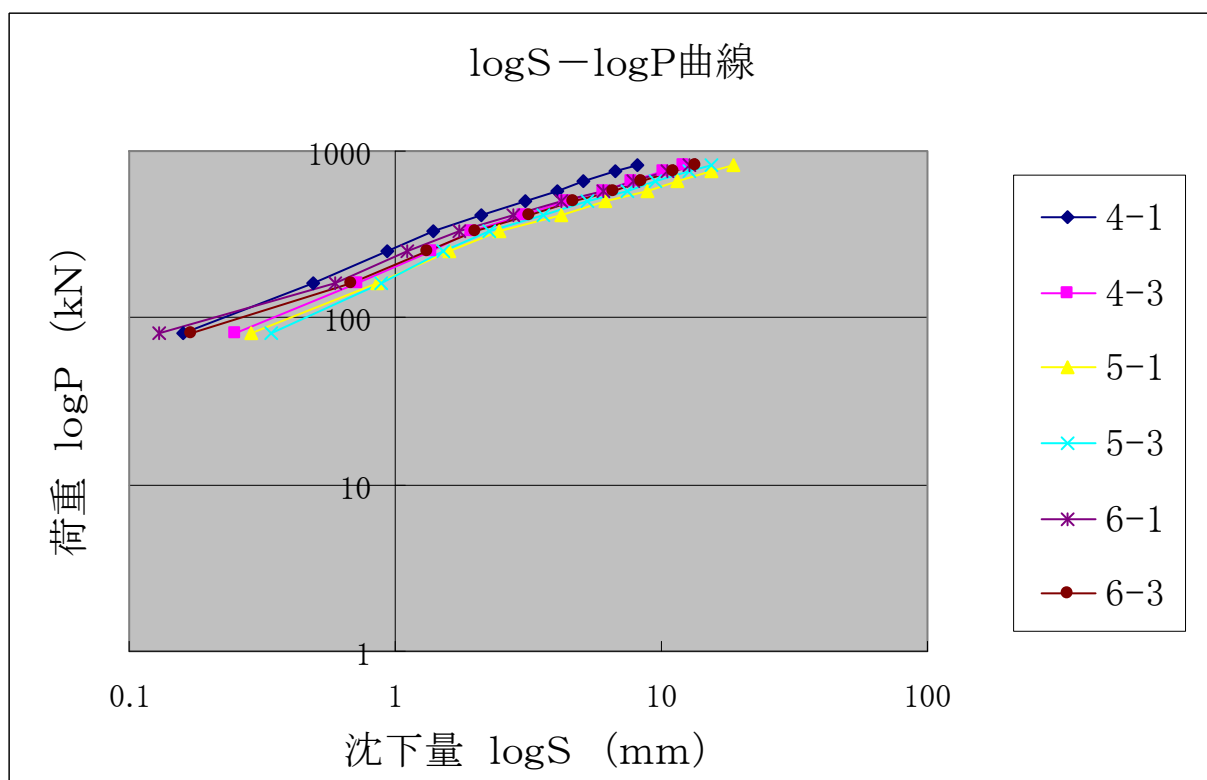
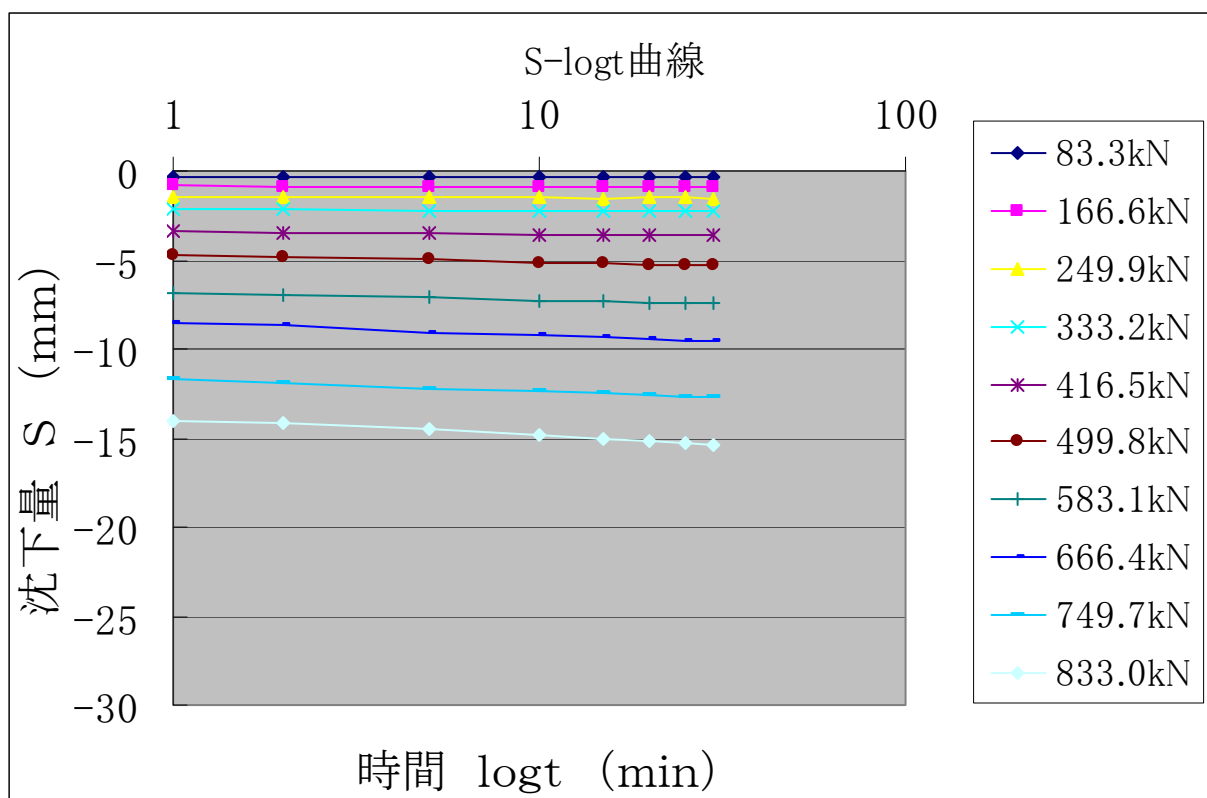


図 4.31 $\phi 165$ グラウト杭載荷試験結果

4. 6. 5 グラウトの地盤改良効果

グラウト杭の地盤改良効果を確認するために、載荷試験から応力伝達管にかかる荷重と沈下量に着目し、地盤の変形をモデル化して、沈下変形した状況についてFEM解析を実施している。グラウト杭によって補強された土塊ブロックのせん断強度を正確に評価することは、切土法面の安定解析にフィードバックすることで経済的な設計を実施することが可能となる。

図4. 32はFEM解析モデルである。FEM解析は次の手順で行っている。

- 1) 地盤の極限支持力実験の1ケースごとに、応力伝達管の下端にかかる応力と沈下量の平均値を算出し、荷重と沈下量に見合う地盤の変形係数を求めている。
- 2) 同様に、他の2ケースも算出し、その平均値を地盤の変形係数としている。
- 3) グラウト杭の支持力実験における応力伝達管の下端にかかる応力と沈下量の平均値を算出し、グラウト杭の長さ分を地盤改良層と仮定して、荷重と沈下量に見合う地盤の変形係数を求めている。
- 4) 同様に、グラウト杭の周面摩擦実験についても、応力伝達管の下端にかかる応力と沈下量の平均値を算出し、グラウト杭の長さ分を地盤改良層と仮定して、荷重と沈下量に見合う地盤の変形係数を求めている。

計算に入力したデータは、土の単位体積重量 $\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3$ ，土の内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$ ，土の粘着力 $C = 10 \text{ kN} / \text{m}^2$ ，土のポアソン比 $\nu = 0.3$ ，応力伝達管は鋼材としている。

解析結果は、表4. 8FEM解析結果一覧表であり、図4. 33～図4. 35は、変形図で、図4. 36～図4. 38は、最大せん断ひずみ図である。

表 4. 8 FEM解析結果一覧表

		グラウト杭径	グラウト杭長	応力伝達管にかかった荷重	応力伝達管の沈下量	FEM解析による改良されている地盤の変形係数	FEM解析による沈下量
		m	m	kN	mm	kN / m^2	mm
地盤の極限支持力実験	case1	0.165	0.000	15.27	0.75	30000	0.788
	case2	0.165	0.000	23.72	1.81	20000	1.838
	case3	0.165	0.000	37.59	1.70	33000	1.764
	平均					27667	
グラウト杭の支持力実験		0.300	0.300	150.83	12.74	100000	12.23
グラウト杭の周面摩擦力実験		0.165	1.000	237.17	13.15	300000	13.65

FEM解析結果をまとめると以下のとおりとなる。

- 1) 載荷実験を行った地盤の変形係数は、 $27600kN/m^2$ となっている。
- 2) グラウト杭の長さを地盤の改良層とした場合、グラウトの支持力実験では、地盤の変形係数が、 $100000kN/m^2$ となっている。
- 3) グラウト杭の長さを地盤の改良層とした場合、グラウト杭の周面摩擦力実験では、地盤の変形係数が、 $300000kN/m^2$ となっている。
- 4) 地盤の変形係数は、グラウト杭の長さ、つまり改良層の厚さに比例して大きくなっている。
- 5) 地盤の極限支持力実験では、最大せん断ひずみが、杭下端直下が最大となっている。
- 6) グラウトの支持力実験では、最大せん断ひずみが、改良層の下で広い範囲に分布しているがひずみ量は少なくなっている。
- 7) グラウト杭の周面摩擦力実験では、グラウトの支持力実験より改良層の下でさらに広い範囲に分布しており、ひずみ量もより少なくなっている。

これらを整理すると以下のとおりとなる。

- 1) グラウト杭は、杭長が長いほど地盤の改良効果を期待できる。
- 2) グラウト杭は、地盤の改良効果があり、土塊ブロック(象の足(Elephant Sole))を形成できる。
- 3) グラウト杭は、連続して施工することにより、地盤の改良効果層としてみなすことができる。

グラウト杭は、載荷実験の荷重と沈下量から地盤の改良効果があることをFEM解析から判定される。さらに、連続した層として考えることで、実験結果を良く説明することができる。このことからグラウト杭は、短く太い杭とするより、長く細い杭とすることが、効果的であると判断ができる。

グラウト杭の施工によって、土の変形係数が高くなることから、地盤のせん断強度が高くなることが分かった。しかし、変形係数によるせん断強度の関係については、実験の数が少ないので、今後の課題としてさらに研究を進めていきたい。

地盤の極限支持力確認実験

Case1

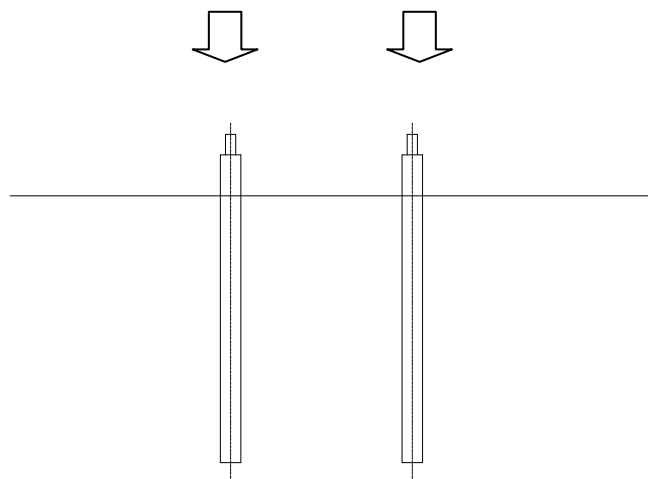
荷重15kN 沈下量0.75mm

Case2

荷重24kN 沈下量1.81mm

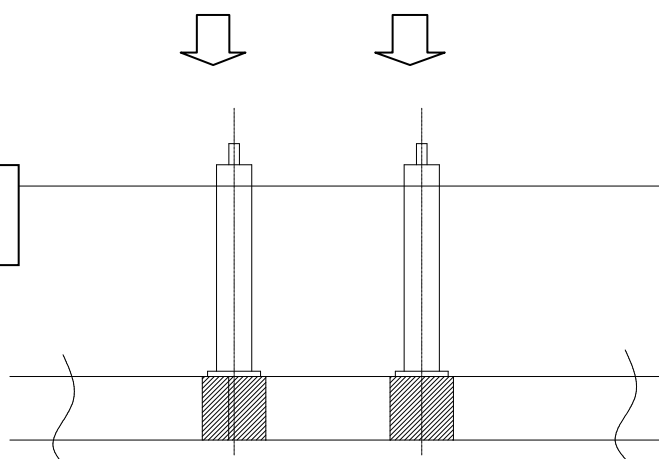
Case3

荷重36kN 沈下量1.70mm



グラウト杭支持力確認実験

荷重150kN 沈下量12.74mm



グラウト杭周面摩擦実験

荷重237kN 沈下量13.15mm

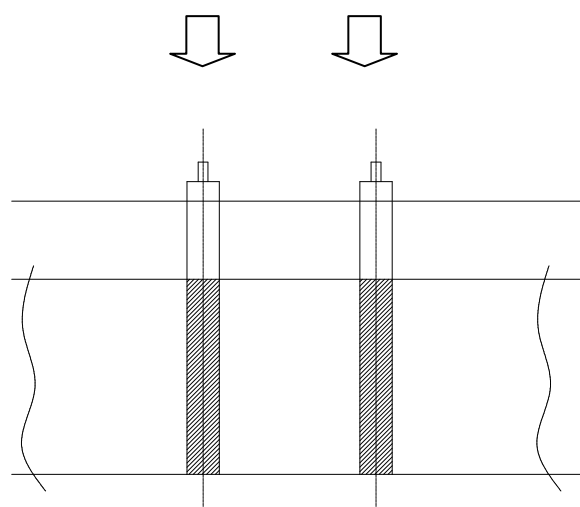


図 4.32 FEM解析モデル図

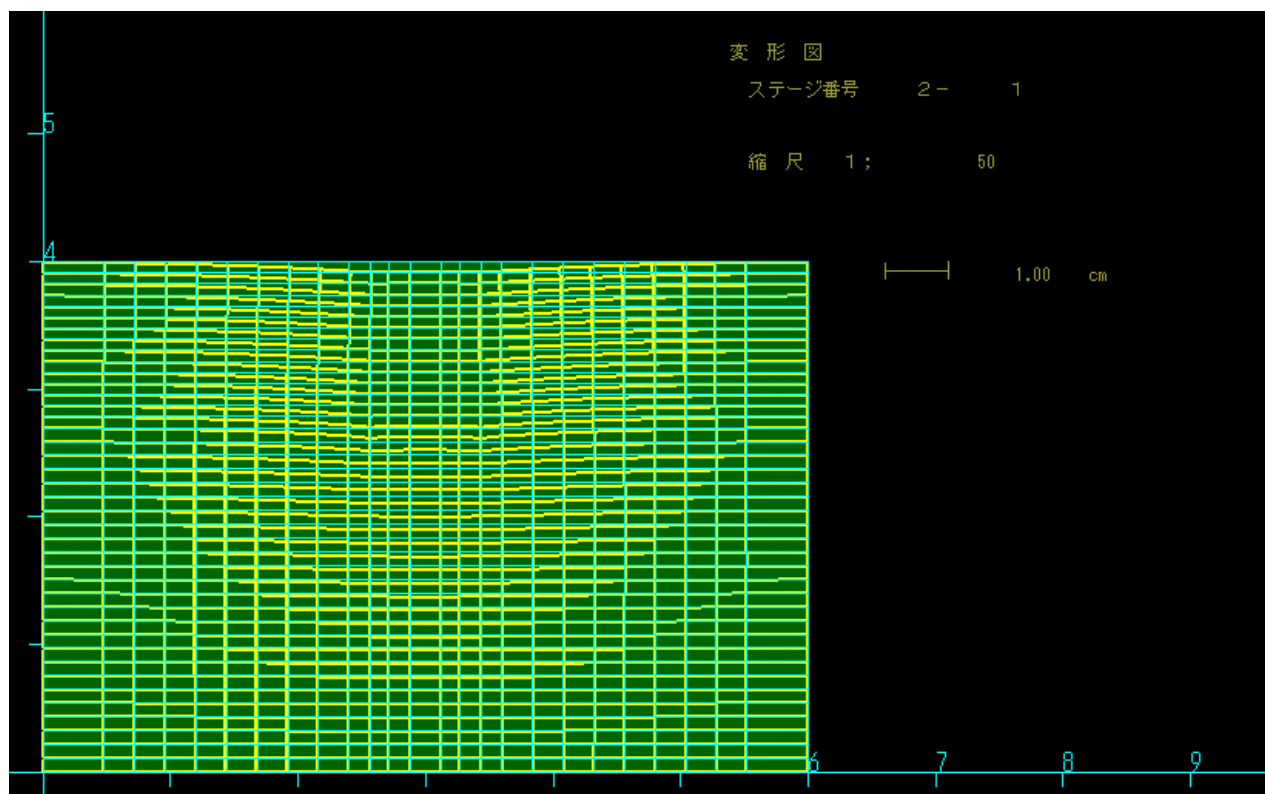


図 4. 33 地盤の極限支持力確認実験 FEM解析変形図

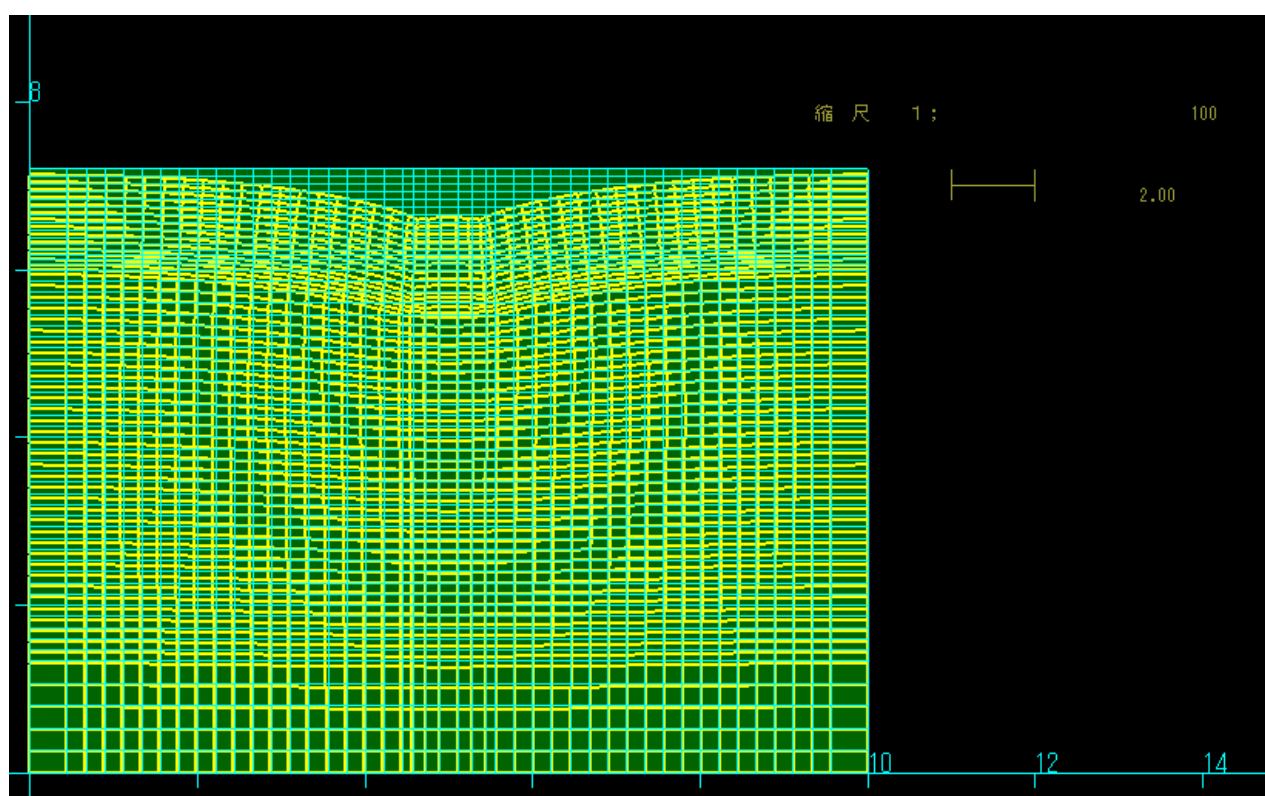


図 4. 34 グラウト杭支持力確認実験 FEM解析変形図

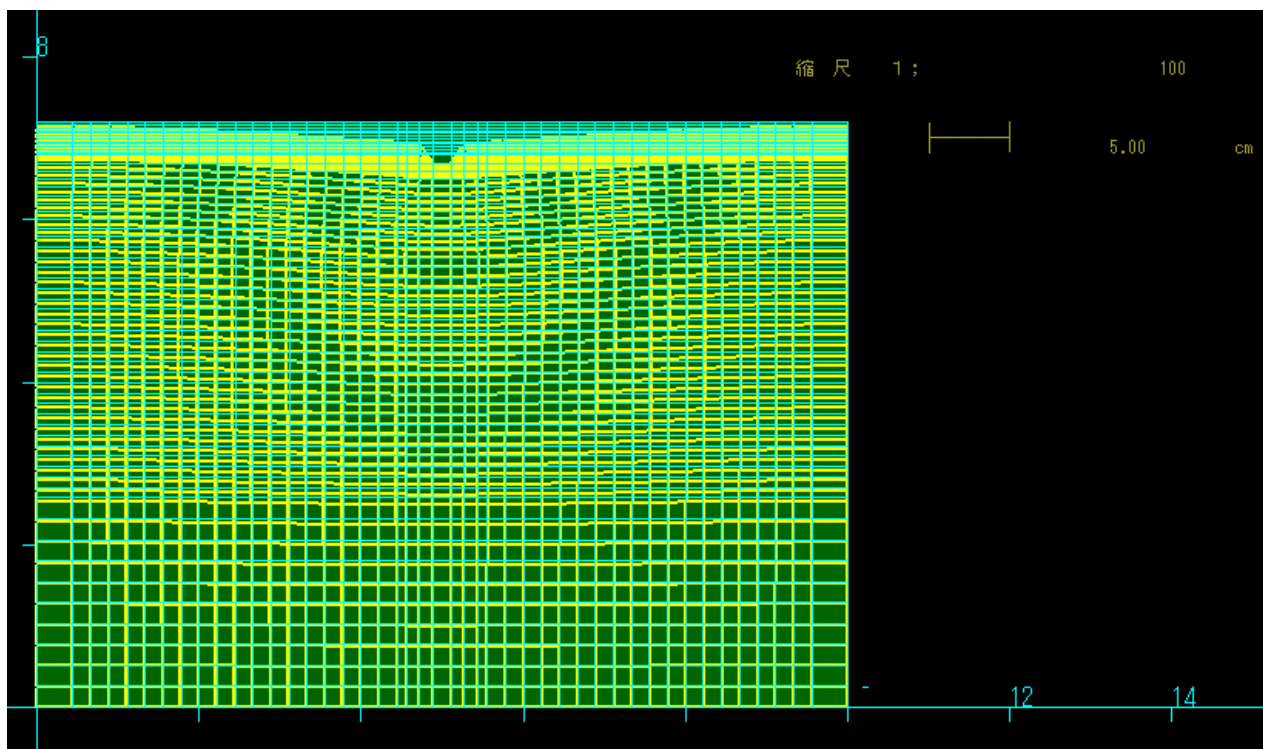


図 4. 35 グラウト杭周面摩擦実験 FEM解析変形図

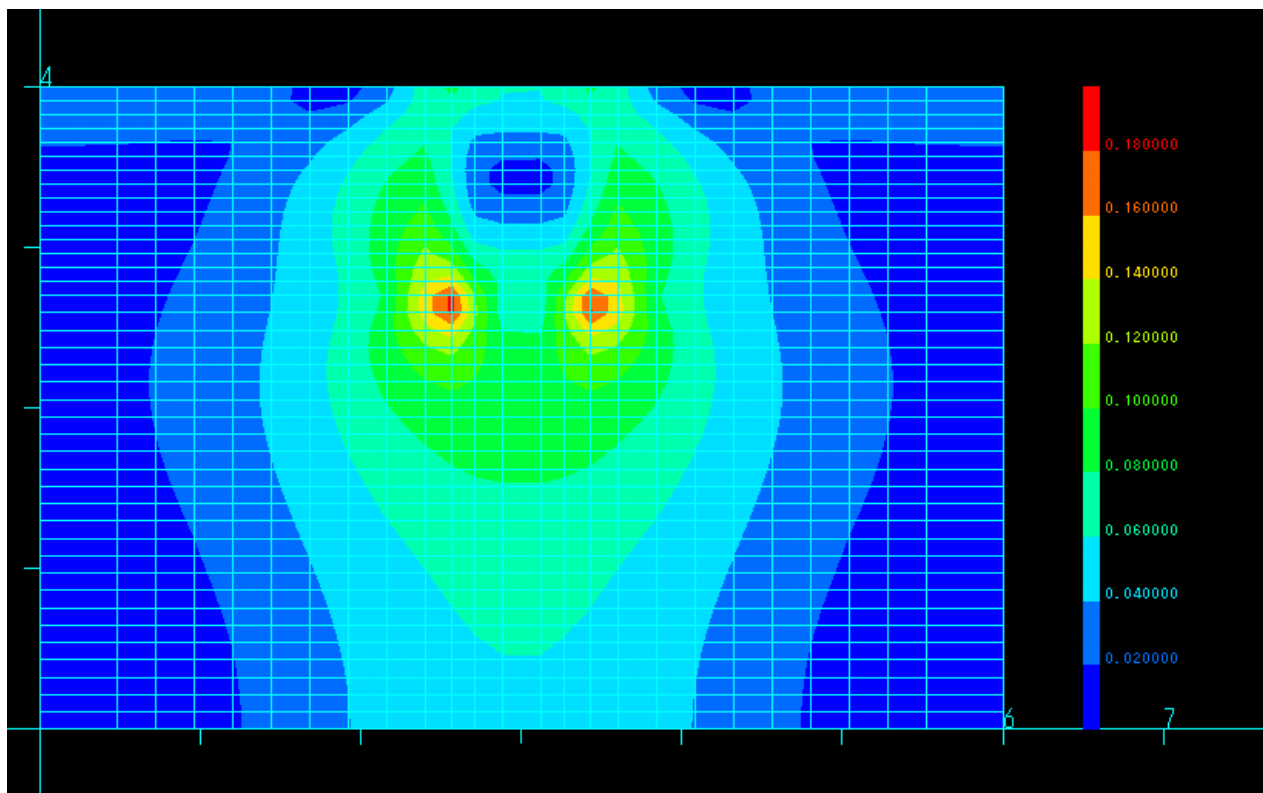


図 4. 36 地盤の極限支持力確認実験 FEM解析最大せん断ひずみ図

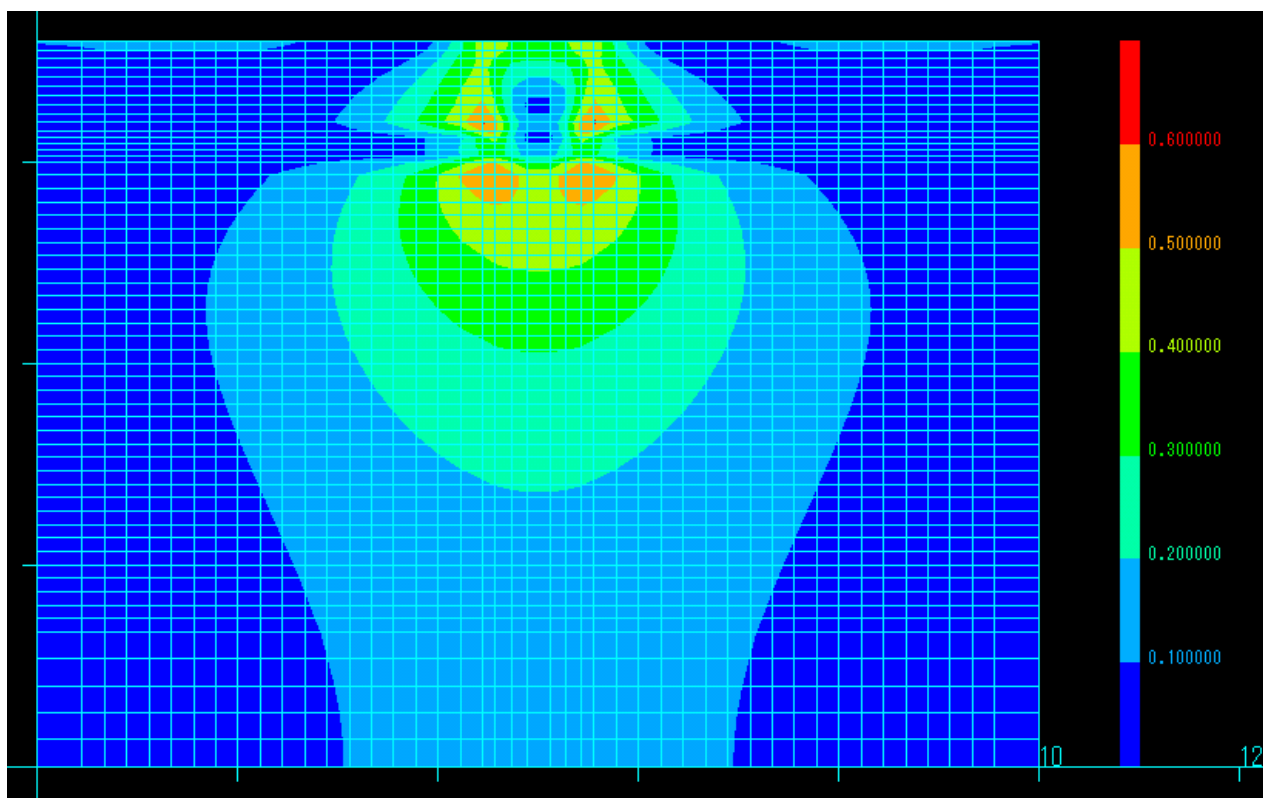


図 4. 37 グラウト杭支持力確認実験 FEM解析最大せん断ひずみ図

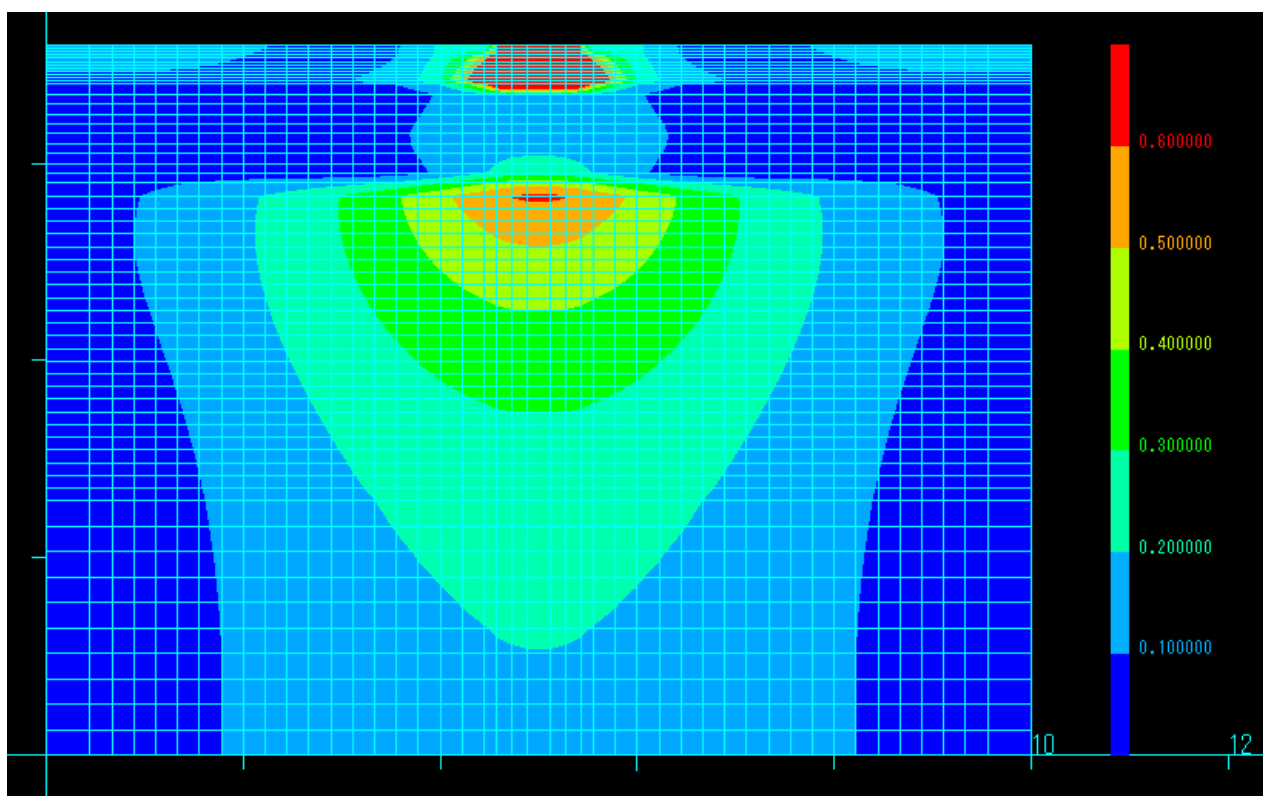


図 4. 38 グラウト杭周面摩擦実験 FEM解析最大せん断ひずみ図

4.7 まとめ

本章では、第3章で提案したES工法の実用性と有効性を検証するために、実用モデルによる施工手順と載荷実験による設計手法の確立を目的として実施している。従来の切土法面防護工は、切土した法面地盤に反力をとる工法が開発されているが、ES工法は、切土法面の地中地盤を改良して反力をとるという今までに無い新しい考え方により開発を進めている工法である。実証実験で得られる成果は以下のとおりである。

4.7.1 施工方法の検証

(1) 施工性の向上

- 1) 切土法面の凹凸や切土法面の施工精度には支障が無い。
- 2) アンカー施工を行う施工設備で、特殊な設備を必要としない。
- 3) 上部プレートを鋼製にしたことによって軽量化が実現され、施工箇所への運搬が容易となっている。
- 4) 重量物を搬入する堅固な工事用道路の必要が無く、小型機械が走行できる工事用道路で施工が可能である。
- 5) 軽量化により、4.8tクローラテレスコピッククレーンなどの小型機械による施工が可能である。
- 6) グラウト杭の施工は、アンカーの施工を行うクローラ式ロータリーパーカッションドリルを使用するので、施工機械を入れ替えることなく、連続作業が可能である。
- 7) クローラ式ロータリーパーカッションドリルの最大削孔径の機械仕様は、 $\phi 216$ mmまでとなっているが、仕様より大きい削孔ビットを取り付けることにより、グラウト杭を $\phi 300$ mm程度まで造成することが可能である。
- 8) 応力伝達管の設置は、あらかじめアンカーと応力伝達管の位置を正確に計測されている設置用型枠を定規として使用することで、施工精度をより確実にすることが可能である。
- 9) グラウト杭の施工時間は、以下のとおりとなっている。

$\phi 300$ mmグラウト杭を削孔するのに要する時間	1.5h
(削孔長 $L=1.5$ m 0.5 h \times 3本 $=1.5$ h)	
応力伝達管の設置に要する時間 (3本設置時間)	1.0h
上部プレートの設置に要する時間	1.0h
- 10) アンカーを施工する人員編成でグラウト杭の施工を行なえるので、作業班の入れ替えをする必要がなく、作業手順の単純化と効率の良い連続作業が可能

となる。

(2) 安全性の向上

- 1) アンカー施工を行う設備以外に特殊な設備を必要としないことから、設備の変更などによる入れ替え作業を省略できるので安全性が高い。
- 2) 重量物を扱う大型揚重機を必要としないことから、重大事故につながる作業が省略できるので安全性が高い。
- 3) 施工段階別に作業班を入れ替えることなく連続作業ができることから、作業班が交錯するような施工手順が無いので安全性が高い。
- 4) 逆巻き工法の採用により、切土法面の安定が確保される施工手順となることから、作業中の法面崩壊などの危険性が少ないので安全性が高い。
- 5) 小型機械による施工ができることから、狭隘な箇所や危険箇所においても適応が可能なので安全性が高い。

(3) 経済性の向上

- 1) 従来の法面防護工と比較しても施工に要する時間が短いので、施工費がコストダウンできる。
- 2) 他の工法と比較しても特殊な設備を必要としないので、施工設備費がコストダウンできる。
- 3) 重量物を扱う揚重機や大型機械を必要としないので、施工機械費がコストダウンできる。
- 4) 施工段階ごとに作業班を入れ替える必要がないので、施工人件費がコストダウンできる。
- 5) コンクリート製の受圧板から鋼製の受圧装置に変更しているため、材料費がコストダウンできる。

4.7.2 載荷実験の検証

(1) 地盤の極限支持力載荷実験

- 1) 上部プレートは、アンカーの荷重を応力伝達管に伝えている。
- 2) グラウト杭は、埋め込み杭の支持力公式を採用する。
- 3) 測定された極限支持力 R_u は、杭の支持力にグラウトと応力伝達管の付着力を合算させたものとなる。

$$Ru = 200 \times \alpha \times N \times A + lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba}$$

- 4) 極限支持力からグラウトと応力伝達管の付着力を除いた杭の支持力により、定数 α を決定している。

$$Ru1 = 200 \times \alpha \times N \times A$$

$$\alpha = 0.4$$

(2) グラウト杭の支持力と周面摩擦力の載荷実験

- 1) グラウト杭は、支持力 $Ru1$ 、応力伝達管とグラウトの周面摩擦力 $Ru2$ 、グラウトと地盤の周面摩擦力 $Ru3$ を合わせた荷重が極限支持力 Ru となる。

極限支持力	$Ru = Ru1 + Ru2 + Ru3$
-------	------------------------

グラウト杭先端の極限支持力	$Ru1 = 200 \times \alpha \times N \times A$
---------------	---

応力伝達管とグラウトの周面摩擦力	$Ru2 = lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba}$
------------------	---

グラウトと地盤の周面摩擦力	$Ru3 = \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{fs}$
---------------	--

$$Ru = 200 \times \alpha \times N \times A + lsa \times \pi \times ds \times \tau_{ba} + \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{fs}$$

- 2) グラウトと地盤の周面摩擦抵抗 τ は、土質の種類とそのN値から「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」にある周面摩擦抵抗値と一致している。

$$\tau = \frac{Ru3 \times fs}{la \times \pi \times Da}$$

- 3) グラウトと地盤の周面摩擦力が支持力を上回るので、グラウト径が小さくてもグラウト長を長くすることで、大きい荷重に対応できる。グラウト長が短いと周面摩擦力の期待ができないので、最低の長さは100cmとする。
- 4) 応力伝達管は、グラウト杭に応力を確実に伝えている。また、応力伝達管長は、

50cm程度とし、応力伝達管とグラウトの付着力を考える必要のない長さとする。

(3) グラウト杭の許容支持力

グラウト杭の支持力と周面摩擦力の載荷実験から、グラウト杭の許容支持力は、極限支持力の1/3とし、周面摩擦力はグラウンドアンカー設計・施工基準、同解説から長期安全率 f_s を採用する。グラウト杭の許容支持力は以下のとおりとなる。

$$Ra = \frac{1}{3}(200 \times \alpha \times N \times A) + \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{f_s}$$

ただし、 f_s : 安全率 永久 常時 $f_s = 2.5$ 地震時 $f_s = 1.5 \sim 2.0$
(グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 長期安全率 f_s)

(4) グラウト杭に長期的にかかる荷重

- 1) グラウト杭長が短いと、応力伝達管から伝わる荷重が、狭い範囲の地盤にしか伝わらないので、地盤のクリープによる荷重低下が起り、長期安定性に問題がある。
- 2) グラウト杭長を長くすると、応力伝達管から伝わる荷重が地盤に分散されるので、地盤のクリープによる荷重低下が少なく長期安定性が良くなる。

(5) グラウトの地盤改良効果

- 1) グラウト杭は、杭長が長いほど地盤の改良効果が期待できる。
- 2) グラウト杭は、地盤を改良する効果があり、土塊ブロック(象の足(Elephant Sole))を形成する。
- 3) グラウト杭は、連続して施工することにより地盤が改良された連続層を形成する。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋標準示方仕様書・同解説下部鋼工編：平成14年3月
- 2) 社団法人地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説：平成13年8月

5. ES工法の設計手法

5.1 概説

第4章では、実用モデルによる実証実験から、ES工法の施工性、安全性、経済性を検証し、載荷実験からその有効性を確認している。本章では、前章の結果を基にES工法の実用的な設計手法を提案すると共に、具体例をあげて設計手順を明確にすることを目的としている。

ES工法の設計は、原位置地盤の種類とN値を調査することから始まり、グラウト杭の支持力とグラウトと地盤の周面摩擦抵抗値による摩擦力を算定する。グラウト杭の許容支持力が、グラウンドアンカーなどの設計アンカー力に抵抗する反力となる。ES工法の設計の主なものは、上部プレートの構造設計とグラウト杭の設計となる。上部プレートは、鋼製の翼プレートの設計を行なうことになるが、単純な構造としているので設計アンカー力に対して安全率を $F_s = 1.5$ として設計している。グラウト杭は、永久構造となるので、極限支持力については $1/3$ とし、周面摩擦力は長期の安全率を採用して設計アンカー力に対応している。グラウト杭は、クリープ試験から径を大きくすることより、長さを長くすることで、長期安定性が確保されることから、グラウト長の最低長を決めている。また、実施設計においては、簡易で迅速な設計が要求されるので、プログラム化した計算シートによって設計の試行や変更を可能にしている。

5.2 ES工法の設計手法

5.2.1 上部プレートの構造設計

上部プレートの構造は、3枚の翼部材とアンカーを通すパイプ部材で構成されている。鋼製の翼プレートは、部材厚さの検討と翼プレートと鋼管のパイプをつなぐ溶接長の検討を行う。

(1) 翼プレートの設計

翼プレートの設計は、以下の条件で行う。

- 1) 設計荷重は、設計アンカー力の1.5倍の荷重とする。
- 2) 翼プレートは、設計荷重 $\times \frac{1}{3}$ の荷重で片持ち梁として設計する。
- 3) 翼プレートのスパンは、500mmとする。

$$P = \frac{1.5 \times T}{3} \quad M = P \times L \quad \sigma = \frac{M}{Z} \leq \sigma_{sa} \quad S = P \quad \tau = \frac{S}{A} \leq \tau_a \quad \delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

ここで, T : 設計アンカー力 (kN) σ_{sa} : 許容曲げ応力度 (kN/cm^2)

P : 翼プレートにかかる荷重 (kN) τ_a : 許容せん断応力度 (kN/cm^2)

L : スパン長 (m)

δ : たわみ量 (1mm以下とする)

(2) 翼プレートと鋼管パイプの溶接長

翼プレートと鋼管パイプの溶接はすみ肉溶接とする。

$$R = \sum al \cdot fs \quad ll = l + 2s$$

ここで, R : すみ肉溶接の許容耐力 (kN) (最大せん断力 S とする)

a : 有効のど厚 ($a = 0.7s$) (cm)

l : すみ肉溶接の有効長さ (cm)

ll : すみ肉溶接の必要溶接長 (cm)

fs : すみ肉溶接の許容応力 (kN/cm^2) $fs = 7840kN/cm^2$

以上により翼プレートと鋼管パイプの溶接長の設計を行う。

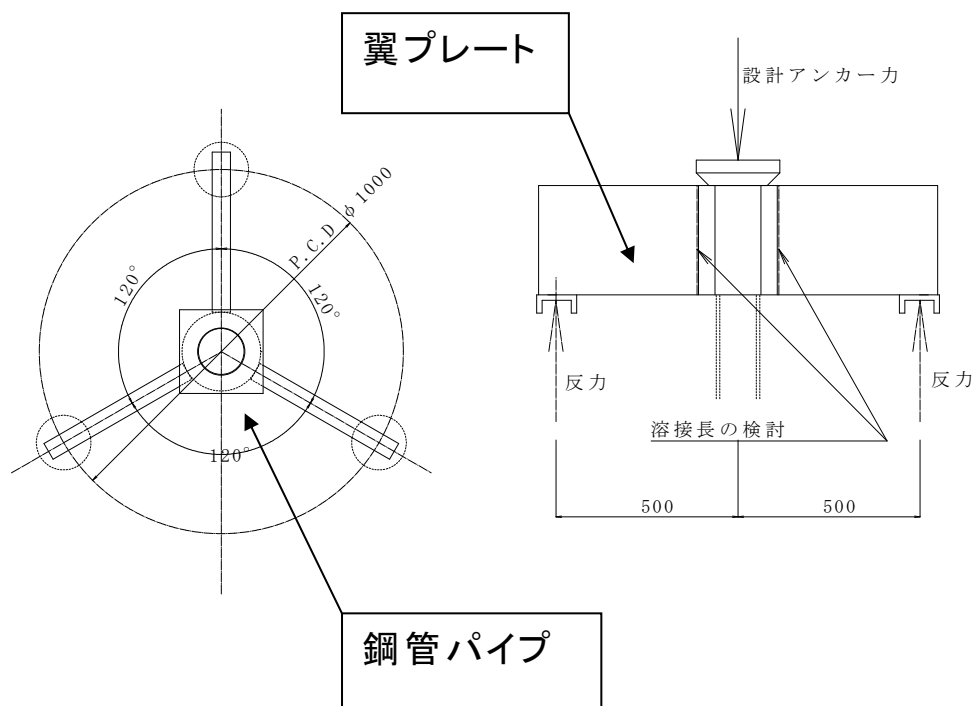


図 5.1 上部プレートの設計

5. 2. 2 グラウト杭の設計

グラウト杭の杭長は、最低長を1.0mとし、施工長を1.0m～5.0mとしている。グラウト杭の設計長は、設計アンカー力の大きさにより杭長を調整する設計としている。設計には、地盤のN値を用いて、道路橋標準示方書・同解説Ⅳ下部工編の中掘り公式による極限支持力とグラウンドアンカー設計・施工基準、同解説にあるアンカーの周面摩擦抵抗値から摩擦力を算定している。グラウト杭の許容支持力が、上部プレートの設計時に使用した翼プレートにかかる荷重 P 以上になるように、グラウト杭長とグラウト杭径を決定する。グラウト杭の許容支持力は長期期間を考えているので、極限支持力の1/3とし、周面摩擦力はグラウンドアンカー設計・施工基準、同解説から長期安全率 f_s を採用して算定する。グラウト杭の許容支持力は以下のとおりとなる。

$$Ra = \frac{1}{3}(200 \times \alpha \times N \times A) + \frac{la \times \pi \times Da \times \tau}{f_s} \geq P$$

ここで、 P : 翼プレートにかかる荷重 (kN)

Ra : グラウト杭の許容支持力

α : 実験結果から $\alpha = 0.4$

N : 地盤のN値

A : 杭先端の面積 (m^2)

la : グラウト杭長 (m)

Da : グラウト杭径 (m)

τ : 周面摩擦抵抗 (kN/m^2)

f_s : 安全率 永久 常時 $f_s = 2.5$ 地震時 $f_s = 1.5 \sim 2.0$

表5.1 アンカーの周面摩擦抵抗 τ

地盤の種類			摩擦抵抗 (MN/m ²)		
岩盤		硬岩	1.5	～	2.5
		軟岩	1	～	1.5
		風化岩	0.6	～	1
		土丹	0.6	～	1.2
砂礫	N 値	10	0.1	～	0.2
		20	0.17	～	0.25
		30	0.25	～	0.35
		40	0.35	～	0.45
		50	0.45	～	0.7
砂	N 値	10	0.1	～	0.14
		20	0.18	～	0.22
		30	0.23	～	0.27
		40	0.29	～	0.35
		50	0.3	～	0.4
粘性土			1.0C (Cは粘着力)		

5.3 ES工法の実施のための設計例

5.3.1 実施設計の手順フロー

ES工法は、地盤の調査、安定解析による抑止力の検討、設計アンカー力の算定を行い上部プレート及びグラウト杭の設計を行うことになる。実施設計の手順は、以下のフロー図のとおりとなる。

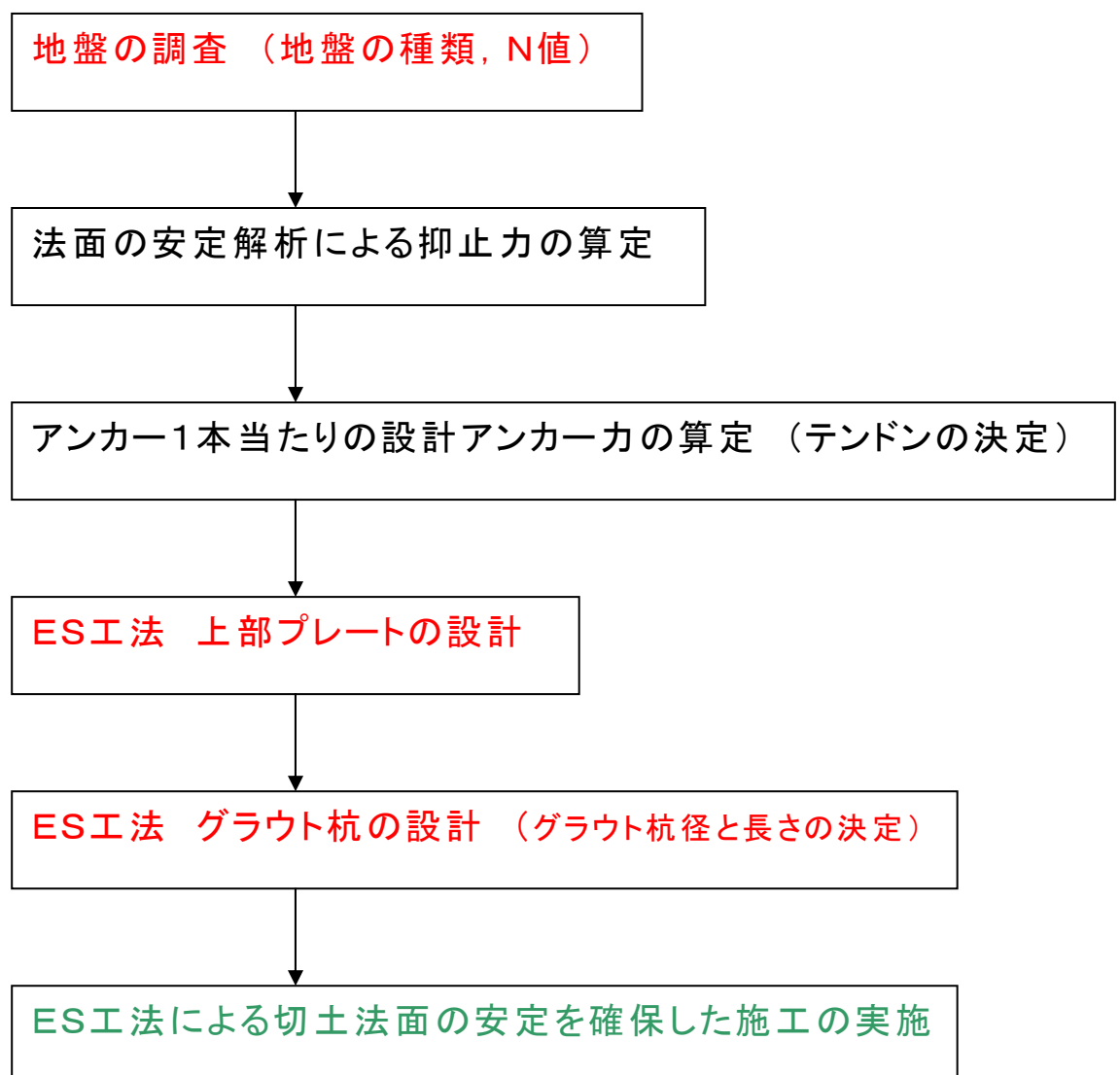


図5.2 設計手順フロー図

5.3.2 実施設計例

地すべり地帯の山間部を通過する新設道路においてES工法による法面防護工を実施するための実施設計例を以下に述べる。設計手順のフロー図に従って行うが、設計の計算結果は、プログラム化した設計シートを使用することで簡易なものとなっている。図5.3、図5.4は、実施設計例として常時、地震時安定解析結果及びすべり面とアンカーのなす角度である。

ここで、あらかじめ設計条件を明示する。

現況の条件

常時現況安全率	$Fs = 1.029$
常時計画安全率	$Fs = 1.200$
地震時現況安全率	$Fs = 0.763$
地震時計画安全率	$Fs = 1.000$
地山の粘着力	$C = 6.2 \text{ kN/m}^2$
地山の内部摩擦角	$\phi = 30$
地山の内部摩擦角	$\phi = 30^\circ$ 地山の単位体積重量

アンカーの条件

アンカー体径	$Da = 135\text{mm}$
アンカー角度	$\alpha = 30^\circ$
定着地盤の土質	崖水 N値 = 40
グラウトと地盤の周面摩擦抵抗	$\tau = 0.40 \text{ N/mm}^2$
許容引き抜き力の安全率(地震時)	$fs = 2.0$

テンドンの条件

引張鋼材	$\phi 12.7\text{mm}$ 4本
テンドンの見かけの直径	$ds = 28.9\text{mm}$
極限荷重(引張り荷重)	$Tus = 733\text{kN}$
降伏荷重	$Tys = 623\text{kN}$

グラウトの条件

設計基準強度	$\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$
--------	---------------------------------

テンドンとグラウトの許容付着応力度(永久)

$$\tau_{ba} = 0.8\text{N/mm}^2$$

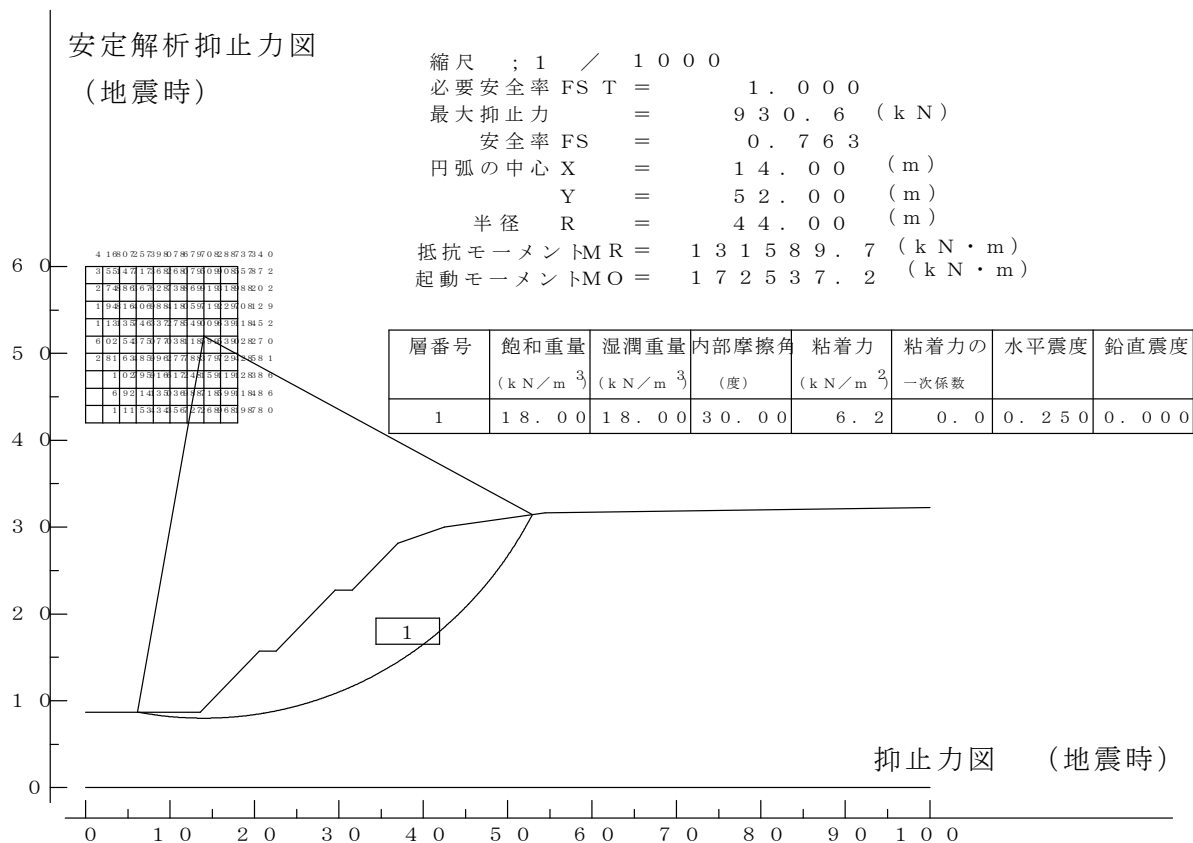
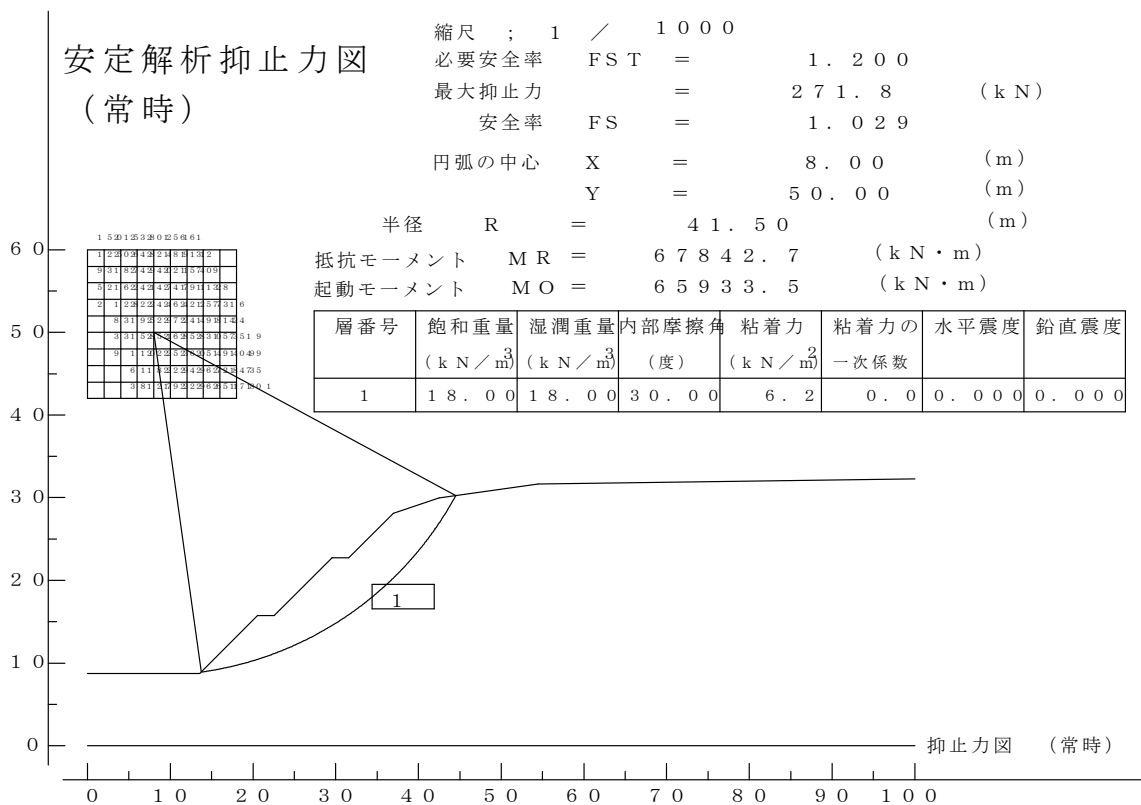


図5.3 安定解析結果 常時と地震時

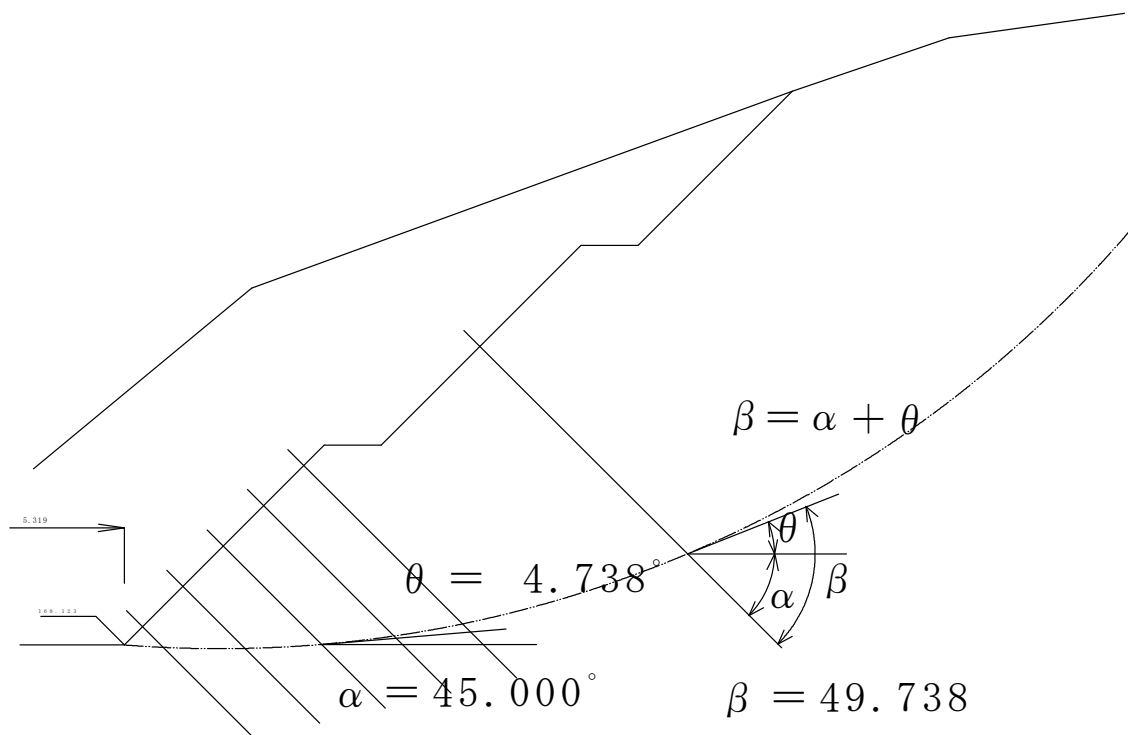


図5.4 すべり面とアンカーのなす角度

(1) 地盤の調査

新設道路工事の施工を開始したが、設計時点から切土法面の安定に問題があり、設計図書にグラウンドアンカーによる法面防護工事が計画されている。アンカーの受圧装置としてコンクリート製品を使用する計画となっているが、景観上から緑化のできる法面の防護工に変更することになり、当初設計で行ったボーリング結果を採用することとし検討する。表5.2は、土質調査にあるボーリング結果と土質試験結果である。

表5.2 ボーリング結果

地山状態	N値	単位体積重量 kN/m^3	自然含水比 %	三軸圧縮試験	
				粘着力 kN/m^2	内部摩擦角 deg
崖錐	20～40	18	32.5	6.2	30

(2)法面の安定解析による抑止力の算定

安定解析の結果，地震時で $F_s=0.783$ ，常時で $F_s=1.209$ となり，切土法面の安定を図るため，グラウンドアンカーを使用した法面安定工法が計画されている。

図5.3は，常時と地震時の安定解析の電算結果であり，必要な抑止力は以下のとおりとなっている。

必要抑止力	常時	271.8 kN
	地震時	930.6 kN

ここでは，地震時の必要抑止力 930.6 kN を採用して計算を進める。

(3)アンカー1本当たりの設計アンカー力の算定

安定解析によって求められる抑止力は，単位長さ当りの抑止力となっているので，グラウンドアンカーの配置は，水平方向の間隔と垂直方向の間隔を決めることから，アンカー1本当たりの設計アンカー力が算定される。つまり，グラウンドアンカーの配置計画から，ES工法における設計アンカー力が決定されることになる。表5.3の配置計画による設計アンカー力計算シートに基づいて決定する。次に，決定した設計アンカー力から，グラウンドアンカーに使用するテンドンを決定する。

1)設計アンカー力の決定

設置する必要抑止力 P と設計アンカー力 T の関係式は場合次式となる。

$$T = \frac{mP/n}{\cos\beta + \sin\beta \tan\phi}$$

ここで， T : アンカー1本当たりの設計アンカー力 $kN/本$

P : 必要抑止力 kN/m

m : 水平ピッチ(横方向のアンカー設置間隔)

n : 垂直ピッチ(アンカーの設置段数)

β : アンカー軸とスベリ面のなす角

α : アンカー傾角

ϕ : スベリ面の内部摩擦角

表 5. 3 の配置計画による設計アンカー力計算シート

		単位	配置計画						
			1案	2案	3案	4案	5案	6案	7案
必要抑止力	P	kN/m	930.6	930.6	930.6	930.6	930.6	930.6	930.6
水平ピッチ	m	m	1.5	2	2.5	3	2	2.5	3
垂直ピッチ	n	段数	5	5	5	5	4	4	4
アンカー軸とスベリ面のなす角	β	度	49.738	49.738	49.738	49.738	49.738	49.738	49.738
すべり面の内部摩擦角	ϕ	度	30	30	30	30	30	30	30
$\cos\beta$			0.646	0.646	0.646	0.646	0.646	0.646	0.646
$\sin\beta$			0.763	0.763	0.763	0.763	0.763	0.763	0.763
$\tan\phi$			0.577	0.577	0.577	0.577	0.577	0.577	0.577
アンカー1本当りの設計アンカー力 $T = \frac{mP/n}{\cos\beta + \sin\beta \tan\phi}$	T	$kN / 本$	256.9	342.5	428.1	513.7	428.1	535.1	642.2

以上から、配置計画は、 4 案 と決定する。

2) 使用するアンカーのテンドンの決定

配置計画から決まった設計アンカー力に見合うテンドンを決定する。永久アンカーとして設計する。

表 5. 4 テンドンの許容引張り力

		テンドンの極限荷重 T_{us}	テンドンの降伏荷重 T_{ys}
仮設アンカー		$0.65T_{us}$	$0.80T_{ys}$
永久アンカー	常時	$0.60T_{us}$	$0.75T_{ys}$
	地震時	$0.75T_{us}$	$0.90T_{ys}$

表 5. 4 は、地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説から抜粋したテンドンの許容引張り力である。

PC 鋼より線は、 $\phi 12.7mm$ を 4 本 使用する。

引張鋼材	$\phi 12.7mm$ を 4 本
テンドンの見かけの直径	$ds = 28.9mm$
断面積	$As = 394.8cm^2$
極限荷重(引張り荷重)	$Tus = 733kN$
降伏荷重	$Tys = 623kN$
許容引張り力	$Tas = 0.75Tus = 549kN > T = 513.7kN$
許容引張り力	$Tas = 0.90Tys = 560kN > T = 513.7kN$

3) アンカーの定着長の決定

PC鋼材の必要定着長さの計算は、①アンカー引張材とグラウトの付着応力から必要となる定着長 $l1$ と②地盤とグラウトの定着地盤の周面摩擦抵抗から必要となる定着長 $l2$ のいずれか長いほうを定着長とする。

$$\textcircled{1} \quad l1 = \frac{T}{\pi \times ds \times \tau_{ba}}$$

$$\textcircled{2} \quad l2 = \frac{T \times fs}{\pi \times Da \times \tau}$$

ここで、
 T : 設計アンカー力 (kN)
 ds : 引張鋼材の見かけの直径 (mm)
 τ_{ba} : 許容付着応力度 (N/mm^2)
 Da : アンカー体径(削孔径) (mm)
 τ : グラウト材と定着地盤の摩擦抵抗 (N/mm^2) 表5.1参照
 fs : 安全率

表5.5 テンドンとグラウトの許容付着応力度 N/mm^2

グラウトの設計基準強度			18	24	30	40以上
引張り材の種類	仮設	PC鋼線	1.0	1.2	1.35	1.5
		PC鋼棒				
		PC鋼より線				
	永久	多重PC "	1.4	1.6	1.8	2.0
		異形PC鋼棒				
		PC鋼線				
	永久	PC鋼棒	-	0.8	0.9	1.0
		PC鋼より線				
		多重PC "				
		異形PC鋼棒				

表 5. 6 テンドンの定着長計算シート

			単位	数値及び計算値
アンカー材とグラウト材の必要長	設計アンカー力	T	(kN)	513.7
	引張鋼材の見かけの直径	ds	(mm)	28.9
	許容付着応力度 (グラウト強度24N/mm ²)	τ_{ba}	(N/mm ²)	0.8
	アンカー材とグラウト材の必要長	$l1 = \frac{T}{\pi \times ds \times \tau_{ba}}$	(mm)	7076
グラウト材と地盤摩擦との必要長	設計アンカー力	T	(kN)	513.7
	安全率	fs		2.0
	アンカー体径(削孔径)	Da	(mm)	135
	グラウト材と定着地盤の摩擦抵抗	τ	(N/mm ²)	0.4
	グラウト材と地盤摩擦との必要長	$l2 = \frac{T \times fs}{\pi \times Da \times \tau}$	(mm)	6059
定着長	L1かL2の長いほうの定着長		(mm)	7076
	定着長		(m)	7.500

表 5. 6 から、定着長は、 7. 5 m とする。

(4) 上部プレートの設計

景観と環境を配慮し、法面の緑化を行う計画となり、ES工法を採用する。上部プレートは、上部プレート設計計算シートから、翼プレート高 $h = 32\text{cm}$ 、厚さ $t = 6\text{cm}$ とする。鋼管パイプと翼プレートの溶接は、脚長 $s = 1\text{cm}$ 、両側全面溶接を行う。上部プレートは、永久とするので、亜鉛めっきを施す。

(5) グラウト杭の設計

グラウト杭の設計は、グラウト杭設計計算シートにより3ケース実施した結果、グラウト杭の径 $\phi = 216\text{mm}$ 、グラウト杭の長さ $L = 1.700\text{m}$ とする。

以上でES工法の実施設計を完了する。

表5.7 上部プレート設計計算シート

		項目	単位	数値及び計算値
入力データ	設計アンカー力	T	(kN)	513.7
	翼プレートの数	n	(枚)	3
	翼プレートのスパン	L	(m)	0.5
	プレート厚	t	(cm)	6.0
	プレート高	h	(cm)	32.0
	許容曲げ応力度	σ_{sa}	(N/cm ²)	13,720
	許容せん断応力度	τ_a	(N/cm ²)	7,840
	ヤング係数	E	(N/cm ²)	20,580,000
	溶接脚長	s	(cm)	1.0
	すみ肉溶接の許容応力度	fs	(N/cm ²)	7,840
出力データ	翼プレートにかかる荷重	$P = \frac{1.5 \times T}{3}$	(kN)	256.9
	断面積	$A = t \times h$	(cm ²)	192.0
	断面係数	$Z = \frac{t \times h^2}{6}$	(cm ³)	1,024.0
	断面2次モーメント	$I = \frac{t \times h^3}{12}$	(cm ⁴)	16,384.0
	最大曲げモーメント	$M = P \times L$	(kN・m)	128.4
	曲げ応力	$\sigma = \frac{M}{Z} \leq \sigma_{sa}$	(N/cm ²)	12,541.5
	判定	$\sigma \leq \sigma_{sa}$		OK
	最大せん断力	$S = P$	(kN)	256.9
	せん断応力	$\tau = \frac{S}{A} \leq \tau_a$	(N/cm ²)	1,338
	判定	$\tau \leq \tau_a$		OK
	たわみ量	$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$	(cm)	0.032
	判定	$\delta \leq 0.10cm$		OK
	すみ肉溶接の許容耐力	最大せん断力 $R = S$	(kN)	256.9
	のど厚	a ($a = 0.7S$)	(cm)	0.70
	有効長さ	$l = \frac{R}{a \times fs}$	(cm)	46.8
	必要溶接長	$l1 = l + 2s$	(cm)	48.8
	実施する溶接長	両側全面溶接をする	(cm)	64.0
	判定	$l1 < \text{実施する溶接長}$		OK

表 5. 8 グラウト杭設計計算シート

項目			単位	計算ケース		
				case1	case2	case3
入力データ	設計アンカー力	T	(kN)	531.7	531.7	531.7
	杭の直径	Da	(m)	0.165	0.216	0.300
	N値	N		40	40	40
	杭の周面摩擦力	τ	(kN / m ²)	400	400	400
	グラウトと地盤の周面摩擦抵抗に対する安全率	常時 $fs = 2.5$ 地震時 $fs = 1.5 \sim 2.0$		2	2	2
	支持力係数	α		0.4	0.4	0.4
	応力伝達管にかかる荷重	$P = \frac{1.5 \times T}{3}$	(kN)	265.9	265.9	265.9
出力データ	グラウト杭の先端面積	$A = \frac{\pi \times Da^2}{4}$	(m ²)	0.02137	0.03662	0.07065
	グラウト杭の長さ	$la = \frac{(P - \frac{1}{3}(200 \cdot \alpha \cdot N \cdot A)) fs}{\pi \cdot Da \cdot \tau}$	(m)	2.346	1.672	1.011
	グラウト杭の決定長		(m)	2.400	1.700	1.100

5. 4 まとめ

本章では、地すべり地帯の山間部を通過する新設道路にES工法を採用して、法面防護工を行う場合の実施設計例を述べている。このように具体的な実施例を設計手順フローに沿って作成できるので、ES工法を採用することが容易となる。ES工法は新しい工法であるが、設計は従来からの設計手法を基本にしているので、実用性と汎用性が追及された合理的な手法となっている。また、ES工法の具体的な設計は、上部プレートとグラウト杭の設計だけであるが、本章の実施設計例では、地盤調査、法面の安定解析、設計アンカーの算定も行っている。さらに、法面の安定解析以外は全てプログラム化した設計計算シートを使用して設計を行なっている。実施設計においては、プログラム化したシートを活用することで、多数の設計ケースを迅速に対応すると共に設計変更に対しても簡単に設計が行えるようにしている。

第6章では、既設の法面防護工が劣化して破壊が進行し改修を必要とする場合や周辺の自然環境に調和した法面にするため緑化を必要とする法面防護工に改修する場合について、既設の法面を改修するための施工方法を提案している。以上から、ES工法は、時代のニーズを先取りした新しい工法として今後普及するものと考えられる。

6. 景観修復の計画とシミュレーション

6.1 概説

過去の歴史から、経済大国として世界を席巻して、少なくとも100年以上にわたり国内に資本投下をしないと独自の文化は育たないと言われている。日本は経済大国の仲間入りをしているが、個性ある独自の文化を繁栄させるためにはさらなる社会資本の充実が必要とされる。しかしながら、バブルの崩壊によるデフレ不況は深刻さを増し、少子化や高齢化が進んでいることで年金制度や健康保険制度を不安なものにしている。また、日本の人口は、2011年にピークを迎えると言われ、2065年の人口は、1億3000万人から6500万人に減少するという予測がある。そのような社会情勢のなかで、今後に望まれることは、コストを縮減した社会資本整備である。悲観した数値を上げればきりが無いが、人口が減少して国力が低下するまでの限られた時間の中で立派な社会資本を作り上げていくことが重要となる。その後は、積み上げてきた社会資本を維持するために資本投下するような国造りが求められる。そこで、行政は構造改革を行い、建設産業はコストの縮減を行い、高い品質で低い維持コストの社会資本を整備していくことを実践し、日本の文化を構築していくことが求められている。

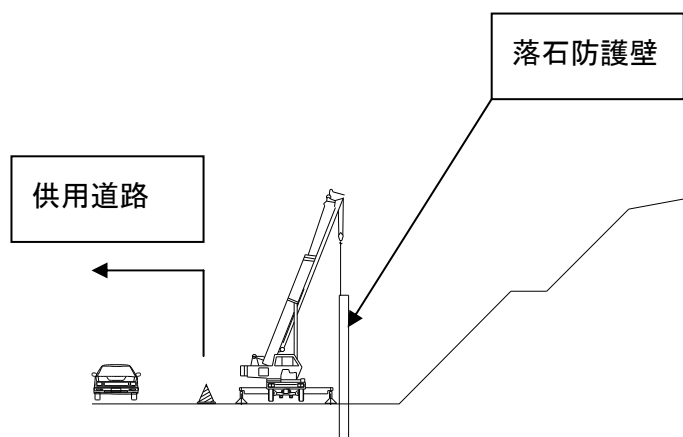
日本の繁栄について、産業の発展と共に必要な施策は観光である。観光立国になるためには、素晴らしい日本文化を育て美しい自然を保全することであり、日本の文化や日本の自然や都会の繁栄を見るために訪れてくれる海外からの観光客を増やすことである。そのために、日本のすばらしい自然の景観を保全していくことは、過去の道路建設で改變してしまった環境を周辺環境に調和する景観に修復することが必要とされる。海外から観光に来てくれる人々のためにも、美しい景観を残していく努力が大切であると考えられる。そのような観点から、景観の修復計画や法面の崩壊に対するES工法の可能性と緑化による景観のシミュレーションについて述べる。

6.2 ES工法を使用した法面の景観修復計画

過去の道路建設により法面防護工として行われたコンクリート吹付け工等は、地山の風化抑制効果が有り経済的であったことから多用されてきたが、吹付けコンクリートの劣化や損傷が調査を実施した法面の90%に発生している。将来においては、そのような法面防護工の修復や改修が必要となる。改修においては、コンクリート吹付け工事を繰り返すのではなく、周辺環境との調和を考慮して周辺の植生に合わせた法面の緑化をすることが望まれている。ここでは、コンクリート吹付け工法面の劣化による改修について、緑化をすることができるES工法を採用した修復計画を提案している。

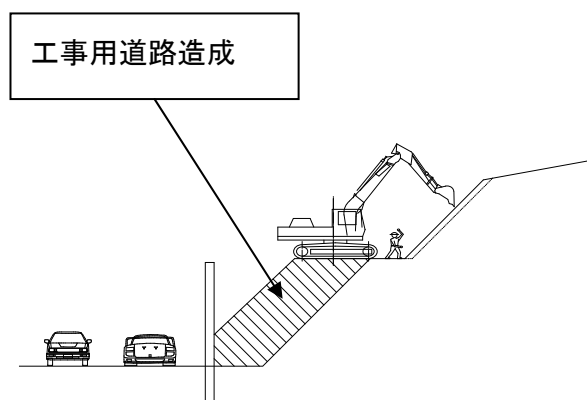
(1) 交通規制による落石防護壁の設置

供用している道路に対して、第3者の安全を確保するために供用道路の建築限界を犯さない場所に落石防護壁の設置をおこなう。夜間作業による車線規制を行い通行車両及び歩行者の安全を確保することが目的となる。



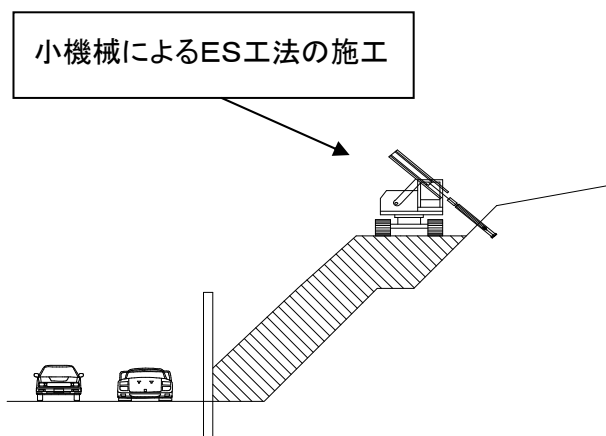
(2) 工事用道路を造成及び既設法面防護工の撤去

改修する法面防護工を撤去するために工事用道路を造成する。ES工法は小機械施工が可能なので、工事用道路は最小限にすることが可能となる。大型の揚重機を使用する工法では工事用道路が大がかりになるので、供用している道路への重大事故の危険性がある。



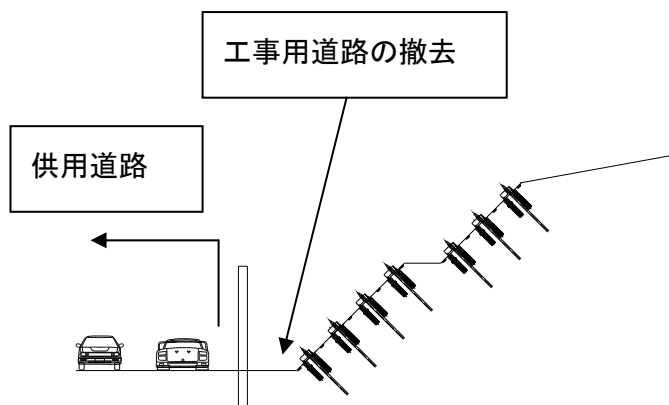
(3) ES工法による法面防護工の施工

クローラ式ロータリーリーパーカッションドリルによりアンカー及びグラウト杭を施工する。応力伝達管を固定しグラウトの圧縮強度の確認後、上部プレートを設置して緊張する。上部から逆巻き工法により施工段数分ES工法の作業を繰り返す。



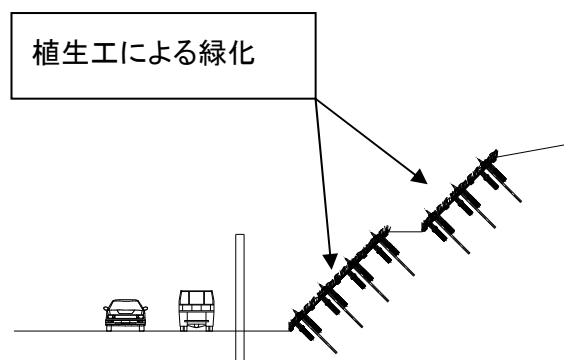
(4) 工事用道路の撤去

上部から逆巻き工法により段数分を繰り返し施工するが、その時に順次工事用道路も切り下げて撤去していく。最終下段のES工法の施工が完了したときには、工事用道路が全て撤去される。逆巻き工法は上部から法面の安定を確保しながら施工を行うので安全である。



(5) 周辺環境に合わせた緑化による景観の修復

工事用道路を全て撤去した後に周辺環境に合わせて植生を選定し緑化することで景観の修復を行う。播種工による緑化を実施するか覆土して植栽工を実施する。



(6) 交通規制による落石防護壁の撤去

供用している道路の安全を確保するために設置した落石防護壁の撤去を行う。夜間作業による車線規制を行い通行車両及び歩行者の安全を確保することを目的とする。

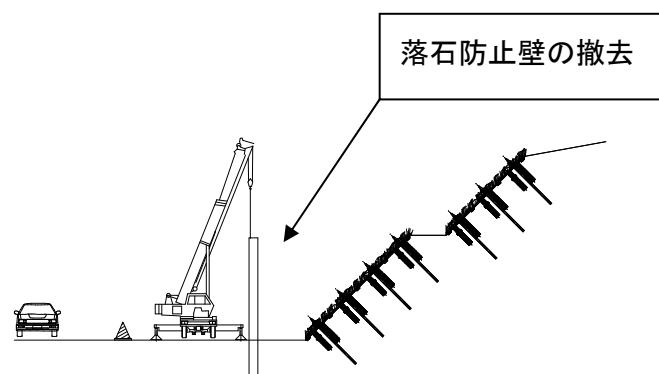


図 6.1 景観の修復の施工手順

近い将来には、過去に施工された法面防護工の中でも、特に吹付けコンクリート工を採用している法面の劣化が進み、この改修が増えるものと予測される。改修工事の施工計画の立案は、将来のニーズを先取りするものであり、本研究のES工法が実用化されることが望まれている。図6. 1は、景観の修復の施工手順を述べている。

築き上げた社会資本を長期的に利用するためには、造り上げたものを補修や改修しながら維持していくこととなる。過去の切土法面に対する設計は、経済性や施工性を第一に考えており、周辺環境まで配慮されることが無かった。今後は、景観や環境を考慮し、美しさや快適性が求められている。特に切土の法面防護工は、斜面の安定や法面の保護だけでなく、緑化を可能にする技術が望まれている。このことから、過去の資産は近い将来に改修することになるが、改修する機会に周辺環境と調和させることができる技術は、本研究のES工法が適していると考えられる。景観の修復計画は、供用されている道路の現状交通を通行させながら施工を行う計画となるため、落石防止壁などの仮設にコストがかかることになるが、安全を確保することも社会環境に対する配慮であり、ES工法の実用化によって景観の修復が可能となる。

6. 3 崩壊法面におけるES工法の実用化

ここでは、本研究におけるテーマである切土法面の事前調査した時に、崩壊した法面に対して、ロックボルトをアンカーとした現場打ちコンクリートのり砕工による法面防護工の施工に出会うことができた。図6. 2は、崩壊箇所に現場打ちコンクリートのり砕工を施工している状況である。図6. 3は、崩壊箇所の断面を推定して作図している。この法面崩壊に対して、ES工法を採用した場合について実用化のシミュレーションを行っている。

(1) 崩壊法面の断面図

この崩壊した断面を写真から推定しその断面を図化する。図6. 3は、崩壊法面の状況を再現した断面図である。舗装道路から崩壊法面上部までの垂直高さ約30mとなる。法勾配1:1.5の押さえ盛土は、垂直高さ8mとなる。崩壊前の切土法面は、垂直高さ5mの法面が6段あり、全体で垂直高さ30mとなっている。修復工事を施工している重機は、トラッククレーン25tである。

(2) 崩壊した切土法面の逆解析

垂直高さ5mの法面が6段あり、全体で垂直高さ30mである崩壊前の切土法面は、法面の凹凸状況から、崩壊面を境に崩落した部分が土砂であったと考えられる。また、崩壊した法

面を現場打ちコンクリートのり砕工で法面防護をしている状況から、残存している崩壊面は転石を含んだ硬い層であると考えられる。崩壊した土砂部は、複合すべり面を有して崩壊している。この状態を安全率 $F_s = 1.05$ として逆解析を実施すると、内部摩擦角 $\phi = 15^\circ$ 、粘着力 $C = 30 \text{ kN} / \text{m}^2$ となる。切土完成後に降雨などによる間隙水圧の上昇が発生し、そのバランスを崩して崩壊したと推定される。

(3) 崩壊後の現場打ちコンクリートのり砕工を施工中の法面の逆解析

崩壊後は、トラッククレーンの施工ヤードが確保される高さまで、押さえ盛土が行われている。押さえ盛土より上部の崩壊面に対して施工中の安全率は、 $F_s = 1.05$ で崩壊の危険が無いと仮定して逆解析を行っている。その結果、内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$ 、粘着力 $C = 17.5 \text{ kN} / \text{m}^2$ となる。施工中の逆解析から得られた内部摩擦角と粘着力を採用して施工中の安定解析を実施した結果、安全率 $F_s = 1.045$ となっている。

(4) ES工法を実施する場合の円弧すべり解析

ES工法を実施する場合、現場打ちコンクリートのり砕工の条件と同じにするため、押さえ盛土より上部の崩壊に対して安定解析を実施している。安定解析におけるグラウト杭は、施工した範囲を改良ブロックとして地盤の定数を与えて解析をしている。そのグラウト杭の改良ブロックの地盤定数は、内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$ 、粘着力 $C = 30 \text{ kN} / \text{m}^2$ として安定解析を実施しているが、その結果は、安全率 $F_s = 1.140$ となっている。

(5) ES工法による地盤改良効果

従来の法面表面地盤に反力を求める場合は、設計アンカー力を導入して初めて支圧効果が発揮され法面の安定が図られる。しかし、ES工法のグラウト杭は、グラウトが硬化する時から地盤改良の効果を期待できるので、グラウト杭を施工することにより、アンカーの緊張を行う前から、法面を補強する効果が発揮される。このグラウトの強度の発現による地盤の補強が、法面を安定させるために有効に働き、法面の崩壊に対する安全率を高くしている。従来の工法の安全率は、 $F_s = 1.045$ であったが、ES工法の安全率は、 $F_s = 1.140$ となっている。この安全率の差は、アンカーの本数を減らすことができるので、更なるコストダウンが可能となる。しかし、グラウト杭による改良効果の予測は可能であるが、安全率の上昇分を設計に反映してアンカーの本数を減じることは、詳細なグラウト杭の研究が必要となる。そのことから、現段階では安全率が上昇するという安全側に判断はするが、安全率の上昇を設計上に反映させることについては、今後の研究テーマとしていきたい。



図 6. 2 崩壊箇所に現場打ちコンクリートのり砕工を施工している状況

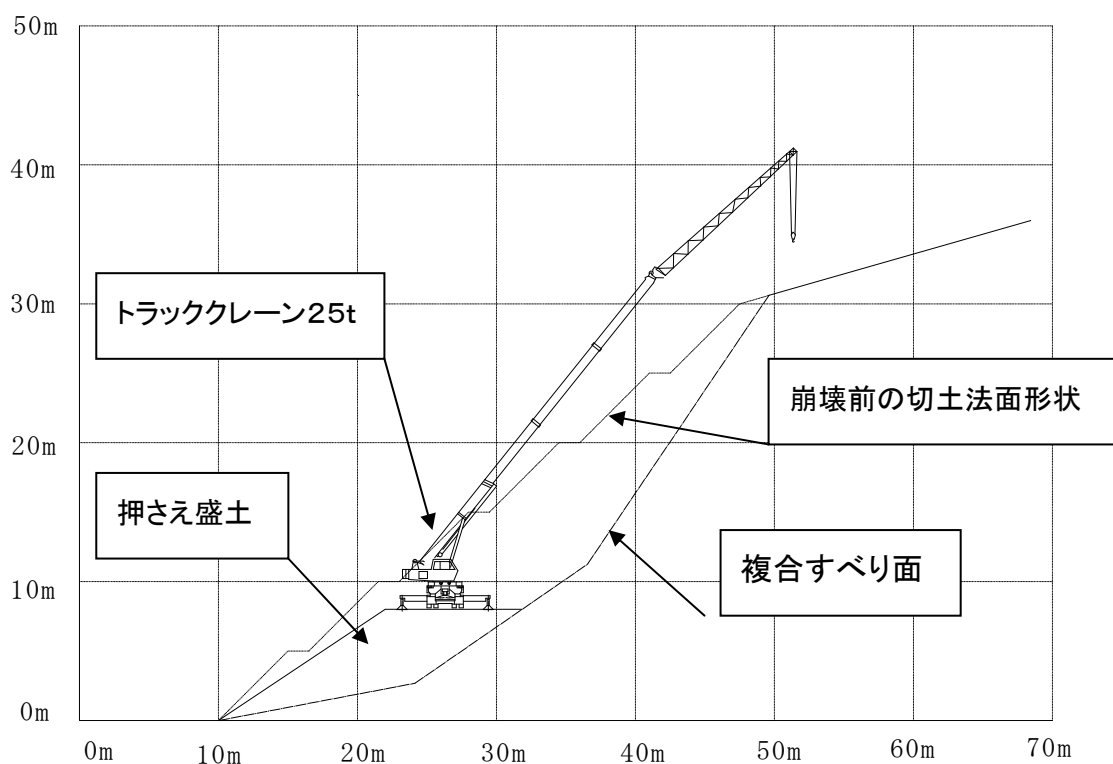


図 6. 3 崩壊法面の断面図

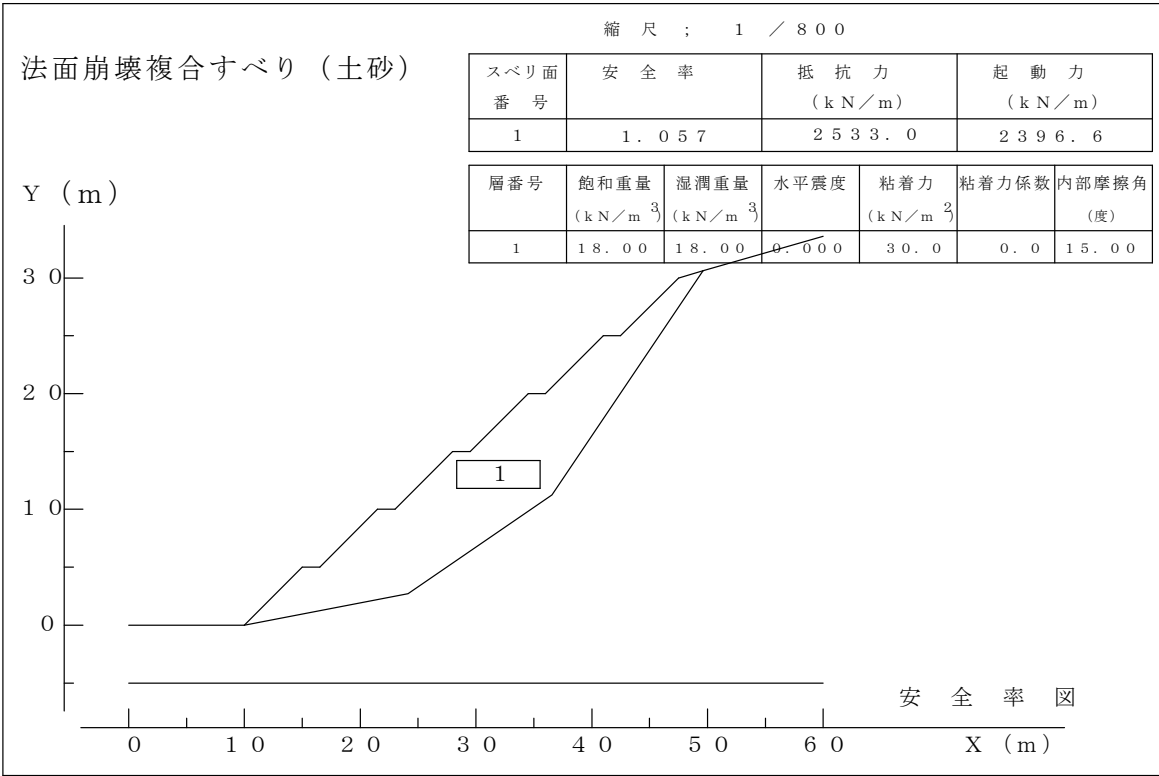


図 6. 4 切土法面崩壊時の安定解析結果

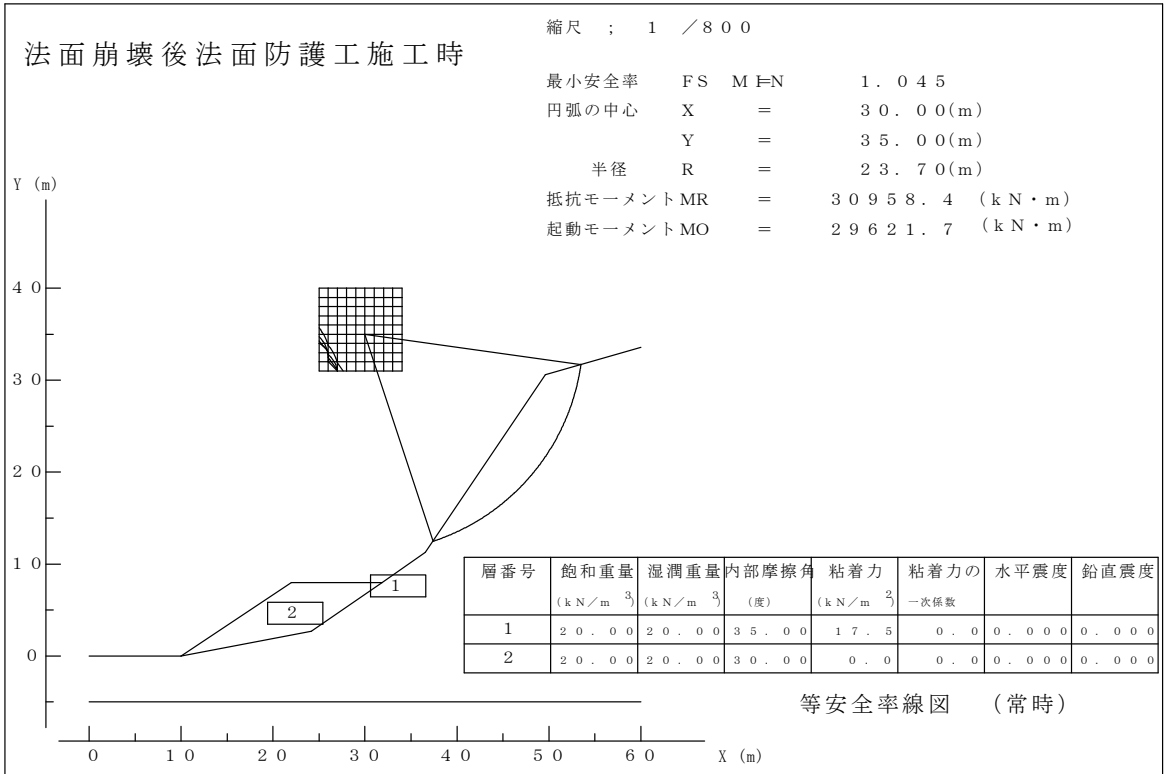


図 6. 5 崩壊法面後の現場打ちコンクリートのり砕工施工中の安定解析結果

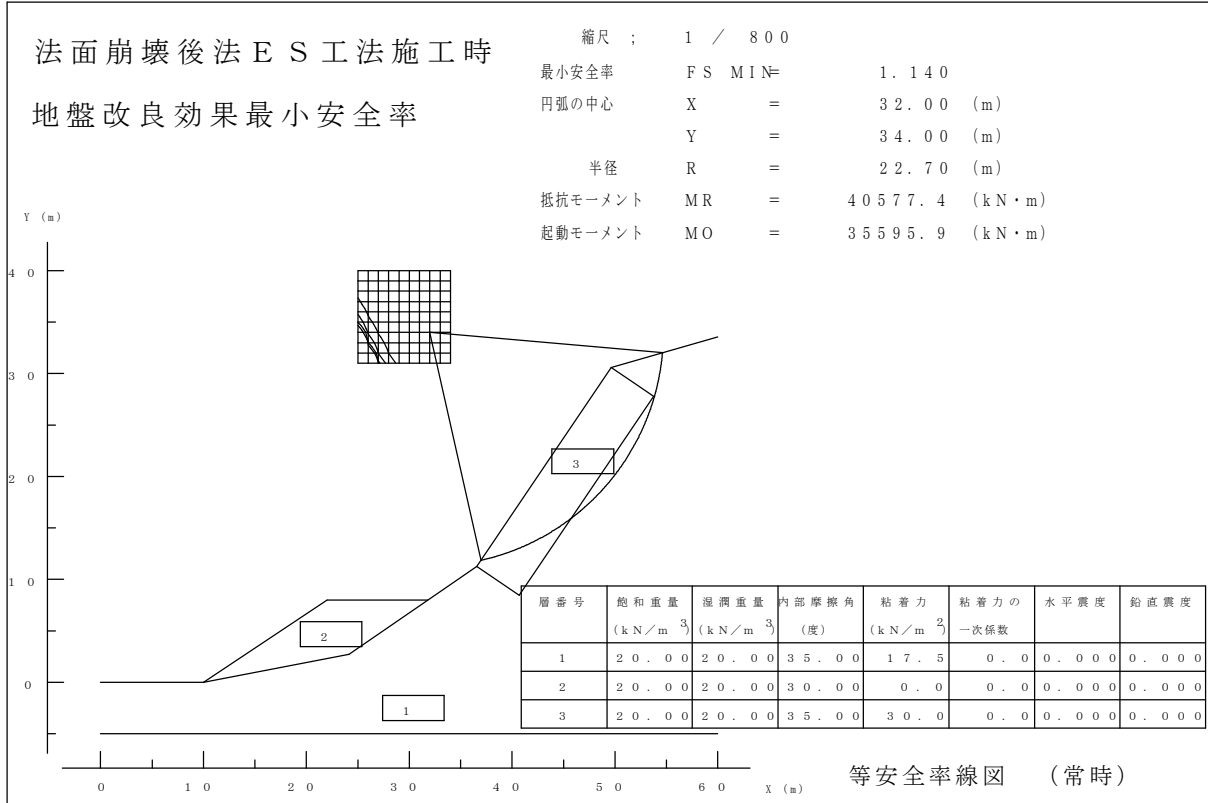


図 6. 6 崩壊法面後ES工法によるグラウト杭の地盤改良効果

6.4 景観修復のシミュレーション

切土法面の景観を考えるために、国道、県道、バイパス、高速道路の切土法面にスポットをあてて調査を実施している。調査した切土法面の中で景観の修復を行うことにより、周辺環境の景観と調和させることが可能となる切土法面について、緑化することによる景観修復のシミュレーションを行なっている。

景観を分類すると、道路を走行するドライバーの移動する視点を考えるシークエンス景観と移動のない視点で写真的な眺めのシーン景観がある。景観の修復は、その両方の視点を満足することが必要とされ、自然環境に同化あるいは調和した景観を創造にすることである。しかし、人それぞれの景観に対する考え方は、主観的であり統一することは不可能である。したがって、景観を良くすることに対して、全ての人のコンセンサスを得ることが可能となる手法は、切土法面が緑化されることであると考えられる。

一方、21世紀の人類共通の問題である地球温暖化の防止は、地球環境を守り、環境への負荷をかけないことがキーワードとなる。そのキーワードから景観について考えられることは、コンクリートの地肌から全面緑化すること以外に無い。本研究のテーマであるES工法は、切土法面が緑化できる画期的な法面防護工法であり、将来の切土法面に適用されることが目的である。そこで、将来に改修を必要とする切土法面へ適用されるために、従来の切土法面保護工から主な工法を挙げ、特に緑化にスポットをあてて景観修復のシミュレーションを行ない、ES工法の可能性を述べる。

そこで、景観を良くする緑化については、次の点に留意している。

- ① 外部に視点があり、シーン景観の中に道路等が存在し、切土法面が発生する場合は、全面的に緑化をする。
- ② シーン景観の中に入らない線形で閉鎖された掘割構造のような道路のシークエンス景観においても全面緑化が基本であるがブロック積等の緑化が出来ない工法やプレキャスト法枠工等を使用する場合は、圧迫感や不安定感が無いものを使用する。

第2章では、従来の切土法面保護工の問題点を洗い出しているもので、それらの切土法面について緑化による景観シミュレーションを行なっている。主な切土法面保護工の種類は、コンクリート吹付け工の法面、現場打ちコンクリートのり枠工の法面、プレキャスト法枠工の法面、現場打ち大型支圧板工の法面、プレキャスト大型支圧板工の法面、擁壁工の法面について、景観が修復されるシミュレーションから現状と比較しながら、その効果を検証する。

(1)コンクリート吹付工の法面

国道20号線の切土高さ5m程度のコンクリート吹付法面である。法面の凹凸から転石などが点在する法面であると推測できる。改修工事としては、落石防止のネットを設置し、岩盤質に緑化可能な厚層吹付工を施工することによって景観に配慮できる。



図6. 7 国道20号線(山梨県)1

下図は、切土法面の緑化をシミュレーションしているが、シークエンス景観は良好になっている。景観の修復を実施すれば、緑化の効果により走行時の圧迫感を軽減できる。

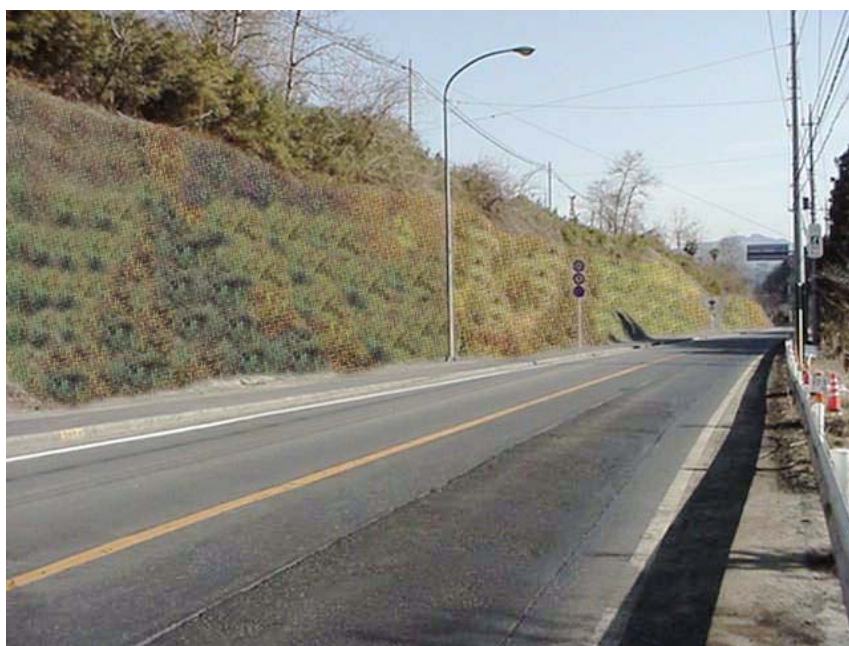


図6. 8 国道20号線(山梨県)1の景観修復

国道20号線の切土高さ10m程度のコンクリート吹付法面である。法面の凹凸から岩質の法面と推測ができる。改修工事としては、走行車線から法面まで距離があるので、仮設設備が大がかりにならない。良好な景観の創造には緑化を行う必要がある。緑化は、落石防止のネットを設置し、岩盤質に緑化可能な厚層吹付工を実施して景観を修復する。



図6. 9 国道20号線(山梨県)2

下図は、切土法面の緑化をシミュレーションしているが、シークエンス景観が良好になっており、走行車線から法面まで距離があるので植栽を行なうことで、さらに良好な景観となる。

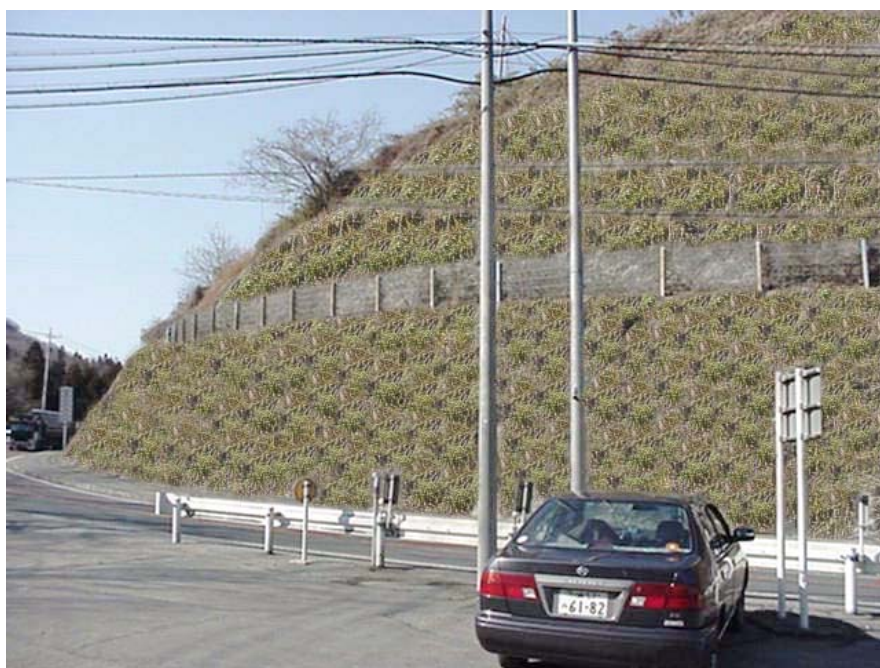


図6. 10 国道20号線(山梨県)2の景観修復

(2)現場打ち法枠工の法面

切土施工中に法面の小崩壊が発生している。崩壊した状態を残して現場打ちのり枠工を実施しているので、不自然な景観となっている。崩壊箇所は、ES工法のグラウト杭を施工して法面の安定を図り緑化を行うことで景観を修復する。



図6. 11 県道(山梨県)1

下図は、切土法面の緑化をシミュレーションしているが、崩壊箇所においても緑化を行なうことで、コンクリートの表面が緑化で被覆されるので、景観への影響を緩和できる。



図6. 12 県道(山梨県)1の景観修復

第6章の6. 3の崩壊法面におけるES工法の実用化において述べている切土の法面防護工事である。供用している県道の法面の崩壊であるが、崩壊した法面形状を残しているため、不自然な景観となっている。このような法面崩壊箇所は、ES工法が適用される箇所であり、ES工法による法面崩壊防止対策を施工し、緑化することを景観対策として提案ができる。



図6. 13 県道(山梨県)2

下図は、崩壊法面の緑化をシミュレーションしているが、崩壊箇所の緑化は、周辺環境と調和するので、景観への影響を緩和できる。



図6. 14 県道(山梨県)2の景観修復

県道の切土高さ15m程度の現場打ちコンクリートのり砕工の法面である。遠方からの景観においても、現場打ちコンクリートのり砕工は、地山の変化に追従して施工されているので、変形している箇所が目立ち不安定さを感じる。また、格子状のコンクリート面がはっきりとみえるので、シーン景観を悪くしている。法面の上部には鉄塔があることから、ES工法のグラウト杭による法面の補強をして緑化することで景観の修復を行なう。



図6. 15 県道(山梨県)3

下図は、切土法面の緑化をシミュレーションしているが、緑化によってシーン景観を良好にしている。また周辺的环境と調和をしているので、安定感と自然さを感じることができる。



図6. 16 県道(山梨県)3の景観修復

(3)プレキャスト法枠工の法面

中央自動車道の切土高さ7m程度のプレキャストのり枠工の法面である。規則正しいプレキャストのり枠工は、人工的な単一面が長く続くので不自然さが目立つようになる。改修工事は、階段状に植栽のできる緑化ブロックなどを使用して景観の修復をする。



図6. 17 中央自動車道(山梨県)

下図は、切土法面の緑化をシミュレーションしているが、シークエンス景観は、周辺環境と調和をして景観を良くしている。側道のブロック積工が目立つので緑化をする必要がある。



図6. 18 中央自動車道(山梨県)の景観修復

(4)現場打ち大型支圧板工の法面

グラウンドアンカーを使用した現場打ち大型支圧板の法面である。法面の地すべり防止対策であるが、現場打ち大型支圧板工においては緑化が不可能である。コンクリートの面が法面全体を覆いつくしているため、冷たさを感じる景観となっている。この法面防護工の施工箇所は、ES工法が適用する箇所であり、ES工法の施工により法面を緑化することが自然な景観になると考えられる。



図6. 19 小田原厚木道路(神奈川県)

下図は、上部2段の切土法面について緑化をシミュレーションした。小田原厚木道路は、箱根や湘南方面に通じる観光道路である。観光道路は自然と調和させる配慮が必要である。緑化は、シークエンス景観に安心感を与えるとともに、コンクリートの塊が視界から無くなることで、シーン景観においても周辺環境に溶け込み自然な景観を創り出している。



図6. 20 小田原厚木道路(神奈川県)の景観修復

(5)プレキャスト大型支圧板工の法面

清静バイパス(静岡県)の竹割形坑門坑口のプレキャスト大型支圧板工の法面である。竹割形坑門としたことで、地形に馴染ませる景観を考慮しているが、プレキャスト大型支圧板工を採用した結果、周辺の自然環境に調和していない。坑口の安定を図るためロックボルト使用している箇所であるが、緑化可能なES工法が適用される箇所である。



図6. 21 清静バイパス(静岡県)

下図は、坑口の緑化をシミュレーションしているが、緑化により自然と調和して良好な景観となっている。



図6. 22 清静バイパス(静岡県)の景観修復

(6) 擁壁工の法面

国道20号線の切土高さ6m程度のコンクリート張擁壁法面である。コンクリートの法面が圧迫感を与えている。コンクリート張擁壁であることから粘性土地盤と推定できる。改修工事は、ES工法のグラウト杭を施工して法面の安定を図り緑化を行うことで景観を修復する。



図6. 23 国道20号線(山梨県)3

下図は、擁壁工の緑化をシミュレーションしているが、緑化により構造物の圧迫感が無くなりシークエンス景観は良好になっている。



図6. 24 国道20号線(山梨県)3の景観修復

6.5 まとめ

本章では、過去に建設された法面防護工が劣化して改修を行う場合や周辺環境に調和した緑化を行う場合に対する景観修復の施工計画を提案している。特に、供用されている道路を例にあげて修復計画を立案している。また、本研究で各地の切土法面を調査している時に、崩壊をした切土法面に対しロックボルトをアンカーにした現場打ちコンクリートのり砕工により崩壊対策を行っている箇所について、その法面崩壊対策工をES工法に置き換えて安定解析をシミュレーションしている。さらに、第4章でグラウト杭の地盤改良効果を検証したことから、グラウト杭による改良されたブロックの地盤のせん断強度を増加させて安定解析を実施している。地盤のせん断強度の評価は、粘着力を上げることで評価しているが、安全率の上昇を設計に反映させることは、今後の課題としている。続いて第2章で述べている現状の法面防護工の問題点を列挙して、ES工法による景観修復のシミュレーションを行っている。

参考文献

- 1) (財)高速道路技術センター:切土のり面景観デザインマニュアル, 平成11年7月
- 2) 篠原修編・景観デザイン研究会著:景観用語事典
- 3) 土と基礎(vol. 44 No. 6 Ser. No. 461)報文:道路土工と環境・景観との調和, 三木博史
- 4) 土と基礎(vol. 44 No. 6 Ser. No. 461)報文:法面保護工の景観, 北村眞一
- 5) 土と基礎(vol. 44 No. 6 Ser. No. 461)報文:景観を配慮した最近の斜面对策工, 菊池洋司, 山田守, 堀江直樹

7. ES工法の今後の課題

7.1 概説

切土して法面を施工することは、自然によって造形された地形を人工的に不安定な状態に移行させる結果となる。しかし、それがそのまま崩壊につながるわけではなく、地山の持っているせん断抵抗が働き適切な勾配で掘削することにより法面の安定が確保される。しかしながら、強度が低下している土質性状の地盤、流れ盤、薄い粘土層を含んでいる地層では、法面が不安定となり崩壊の危険性や崩壊の兆候が現れて、法面の崩壊防止のために補強工法が必要となる。また、切土された法面は、応力開放による緩みが発生し、その緩みに雨水が浸入することで膨張し、強度低下を起こして、法面の崩壊を引き起こすことがある。このような切土法面において、ES工法は、法面の地盤補強を行いながら緑化することが可能な工法といえる。さらに、法面を全面緑化することが可能であることから、環境や景観に配慮した工法となっている。ここで、本研究をさらに発展させるために、以下の課題に取り組み研究する必要があると考えられる。

7.2 ES工法の課題

ES工法の実用モデルによる実証実験を実施したことで、概念的であった経済性や施工性の効果については、施工歩掛から得られた施工コストや景観が修復される施工方法が確認された。しかしながら、ES工法の普及にあたり解決する課題として、施工上の課題、上部プレートの課題、グラウト杭の課題について研究を進める必要がある。

ここで、ES工法の今後の課題について記述する。

(1) 施工上の課題

- 1) ロータリーパーカッションドリルのビットおよびケーシングの径の機械仕様は、 $\phi 96\text{mm}$ から $\phi 216\text{mm}$ までとなっている。本研究では $\phi 300\text{mm}$ のビット径のものを実験用に特注して製作しているが、機械仕様にあるビットやケーシングを使用して施工することが経済的となることから、 $\phi 216\text{mm}$ のビットを使用したグラウト杭の施工について検討する。
- 2) ES工法のグラウト杭長は、 $1\text{m}\sim 5\text{m}$ としているが、グラウト杭の施工サイクルタイムによっては、経済的とならない場合が考えられるので経済性が追求されるグラウト長を実施工から検討する。
- 3) 施工手順や施工順序の変更などから施工性を向上させる施策を再検討してさらなるコストダウンができる施工方法を検討する。

(2) 上部プレートの課題

- 1) 上部プレートは、3枚の翼プレートから構成されており、本研究の実用モデルのデザインは矩形でシンプルな形状となっているが、施工直後から植生により緑化されるまでの間は法面上に現れることになるので、形状の変更や景観と調和する塗装を行うことで景観への影響を緩和させる検討をする。
- 2) 表4.4、表4.6の載荷実験の結果より、各翼プレートにかかる荷重の平均値から最大16%の荷重差が発生していることから、応力伝達管に偏芯して荷重が伝わっていると考えられる。このことから、翼プレートと応力伝達管を接続する方法を改良して、偏芯がかからない構造の検討をする。
- 3) 切土法面に対して100%の緑化を可能にする方法は、上部プレートが法面上に露出するのではなく、法面下に埋め込むことで可能となる。したがって、上部プレートを法面下に埋め込んだ場合の検討を行い、施工性や経済性も考慮しながら、切土法面を100%緑化する検討をする。

(3) グラウト杭の課題

- 1) グラウト杭の長期安定性は、過去のグラウンドアンカーの定着工によるグラウトの実績から判断が可能であるが、グラウト杭が切土法面の直下で植生の根や地盤の風化などの影響について検討をする。
- 2) グラウト杭が連続的に施工される場合において、地盤改良の効果のあることが確認できているが、グラウトによって地盤改良された地盤のせん断強度の評価を行い、安定解析にフィードバックすることで、より経済的な設計を実現することになるので、グラウトによって改良された地盤を評価する方法の検討をする。

以上の課題について、ES工法を改良及び改善して、広く実用化を図るために、さらに研究を継続することが必要であると考えられる。

8. 結論

自然環境の保全が叫ばれている21世紀において、世界規模の運動として二酸化炭素の発生を抑制する京都議定書が結ばれた。議長国である日本が主導して採択されたことは、日本の国民として誇りであるが、どの国よりも率先して進めて行かなければならない義務でもある。そこで、日本は温暖化防止を推し進め、美しい環境の中で快適に過ごせる社会を目指すことが必要である。

一方、今後における社会資本の整備のあり方については、過去の資本投下方法の見直しを行う時期にきているが、特に道路の建設については、道路公団などの民営化を目指しており、社会資本の整備の中でも重要なターニングポイントを迎えている。過去の資産を維持しながら、将来のために投資する形は変わらないものの、その投資額を最小限に抑えることが望まれている。また、誰もが美しいと思える環境を創造することは、建設産業に携わる技術者の使命と考えられる。

このような背景から、美しい環境とコスト縮減が、この21世紀初頭のキーワードとなっている。このキーワードを道路建設に生かすべく研究を進めているが、「21世紀の道路は、全ての切土法面を緑化する。」という理想を掲げ、「美しい環境は、緑化をすること。」「コスト縮減は、施工性を向上させること。」と考え、ES工法(Elephant Sole Cut Slope Protection Method)における合理的な施工方法と設計手法を確立するために進めた結果を本章にまとめて述べている。

各章のまとめと得られた成果は、以下のとおりとなる。

第1章「序論」では、本研究の背景と環境と景観を考慮したES工法の特徴を挙げている。そのES工法の特徴は、切土法面下の地中地盤を改良して地中地盤にグラウンドアンカーの反力をとること、軽量化と施工性を向上させ施工コストを大幅に縮減していること、法面面積の95%以上緑化を可能にしていることが大きな特徴となっている。

第2章「現状の法面防護工法と問題点」では、高速道路と一般道路の切土法面の調査から代表的な法面防護工を抽出して問題点について述べている。その問題点は、切土法面の表面にグラウンドアンカー等の反力をとるので広い受圧面積が必要となること、施工機械や施工設備が過大となること、施工コストが高いこと、緑化ができないことなどが挙げられる。そのような問題点によって、コンクリート面が法面全体を覆い占有するので、周辺環境の景観に悪影

響を与えている現状となっている。

第3章「新しい法面防護工法のES工法の提案」では、法面下の地盤を補強して法面の安定を確保するとともに、軽量でコンパクト化した受圧装置により施工の省力化を実現するES工法の構造と施工方法について効果を述べている。その具体的な効果として、①逆巻き工法を採用することで切土することによる応力開放から地山の緩みを最小限に抑えていること、②グラウト杭による地盤改良効果によって施工開始から短期間で法面の安定が確保されること、③ES工法施工直後から緑化ができるので周辺環境に調和した景観を創造できることなどが、従来の法面防護工との大きな違いであり期待される効果である。さらに、条件を同じにした施工費比較において、従来の法面防護工法より半分以下となる大幅なコスト縮減を実現している。

第4章「実用モデルによる実証実験」では、前章で提案したES工法の実用性を実証するために実施した実物モデルによる載荷実験について述べている。載荷実験は、地盤の極限支持力の確認実験、杭の支持力の確認実験、グラウト杭の周面摩擦力の確認実験を実施し、施工方法の検証と載荷実験の検証を行なっている。

施工方法の検証では、詳細な施工計画を基にして実用モデルによる試験施工を実施している。施工機械、施工設備、施工手順、安全性、経済性、施工歩掛りによる施工コストについて検証している。

載荷実験の検証では、第3章で提案している上部プレート、応力伝達管、グラウト杭の構造について詳細に検証している。グラウト杭が切土法面の地中地盤に反力を取る構造とグラウトによる地盤改良の効果を詳述している。ポイントとなるグラウト杭については、グラウト杭の支持力が杭先端の支持力と杭周面の摩擦力の和であり、一般的な杭の支持力公式とグラウンドアンカーの定着理論に着目した結果、杭先端の支持力はプレボーリングの支持力式と合致し、またグラウト杭の周面摩擦力は、グラウンドアンカーのグラウトと地盤の周面摩擦抵抗値と合致している。また、グラウト杭は、切土法面の地中地盤に対して、地盤改良効果があることが確認されている。

第5章「ES工法の設計手法」では、実証実験から得られた結果をもとに、グラウト杭は、中掘り杭の公式から算定する支持力とグラウンドアンカー設計・施工基準、同解説から地盤とグラウトとの周面摩擦力の和を極限支持力として算定をする合理的で簡易な設計手法を提案している。また、地盤のN値から周面摩擦抵抗値を決定する手法は、従来の設計手法と同様のもの

で、設計への信頼性が高いものとなっている。また、ES工法の実用化のために、実施設計例を挙げ、その設計手順において、多数の比較設計が可能な設計計算システムも提案している。

第6章「景観修復の計画とシミュレーション」では、既設の法面防護工に対して、将来施工される法面改修工事に対する施工計画を提案している。切土法面の事前調査を実施した時に遭遇した崩壊した法面の復旧工事を事例にして、ES工法の特徴を活かした安定解析を実施している。また、グラウト杭による地盤の改良効果を安定解析に反映させることが経済的な設計となることから、改良地盤のせん断強度を評価して安定解析に反映させ検討をしている。そこで、このグラウト杭の地盤改良効果を的確に評価することが、さらなる経済性と安全性を向上させる課題となっている。

また、切土法面の事前調査した法面について、景観修復のシミュレーションを行っている。周辺環境に調和した緑化された法面を創造することは、本研究のテーマであるES工法の開発目的で有るが、環境と景観が保全されるために必要なことであり、ES工法がその一翼を担っていると考えられる。また、将来の切土法面の姿をイメージして景観デザイン設計をおこなうことは重要であると考えられるが、景観の美しさは人によって個人差があり主観的なものになってしまうので、緑化を基本とした法面の設計を行うことで、多くの人に受け入れられるものと考えられる。

第7章「ES工法の今後の課題」では、施工上の課題、上部プレートの課題、グラウト杭の地盤改良効果の向上の課題など、さらに合理的な法面防護を目指しES工法を改良・改善・発展させるために必要な課題目標を列挙している。

本研究では、ES工法が緑化のできる切土法面防護工として適用性が高いことを検証している。今後は、21世紀の法面を全て緑化する新しい工法として、広く適用されることが期待される。

謝辞

本論分をまとめる機会を賜った京都大学大学院工学研究科 小野紘一教授に謹んで御礼申し上げます。同教授には、平成9年後期博士課程の門を叩いたときから、熱心なご指導と暖かくも厳しいご助言をいただきました。同教授の励ましと心温まる激励は、ともすれば業務に追われ、くじけそうになる気持ちを勇気付けていただきました。ここに、深い感謝の意を表明するものがあります。また、本論文作成に関して、京都大学大学院工学研究科 田村武教授、宮川豊章教授には、ご指導をいただきましたことを厚く御礼申し上げます。

京都大学大学院平成9年後期博士課程入学の許可をいただいた当時の坂田建設株式会社社長の苦米地正敏様、入学を援助いただいた当時大阪支店長の宮田俊雄様並びにご理解をいただいた役員の皆様には、博士課程に入学することに対して快く認可していただいただけでなく、物心両面で援助を頂きまして深く感謝の意を表します。また、試験施工を実施させていただいた日本道路公団静岡工事事務所 中の郷高架橋工事を担当された大窪克己工事長ならびに実験をサポートしていただいた田口甚一様や技術課の皆様には心からお礼申し上げます。さらに、本研究の遂行に当って、御指導・御協力いただいた方々に心からお礼申し上げます。また、山崎真也様、住川浩一様、石田浩己様、大島博昭様には、多大なご支援をいただいたことを心から感謝致します。

最後に、この6年間を業務の遂行と研究に専心することを許してくれた家族に感謝します。